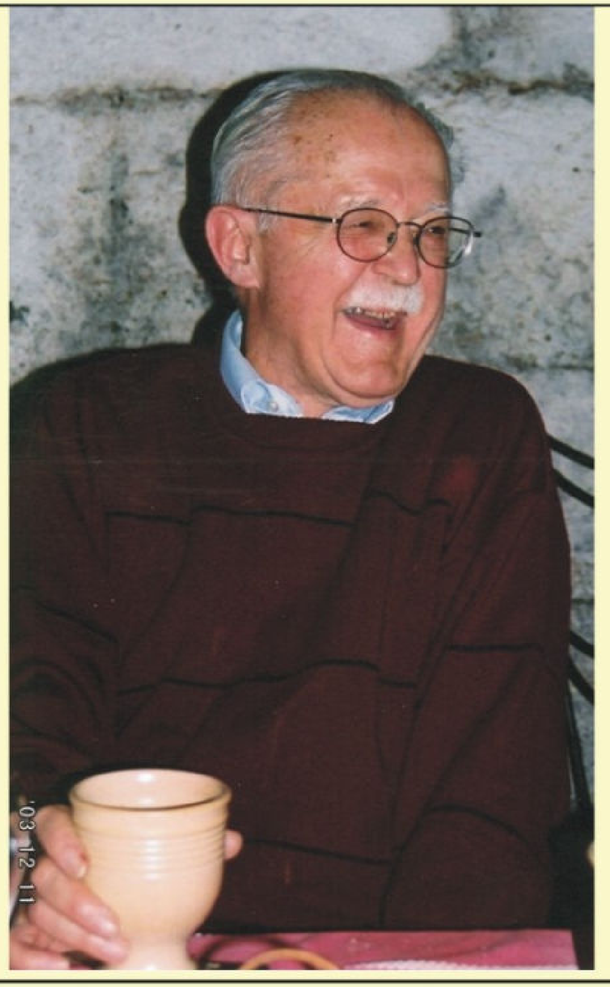
DR. UJHELYI JÁNOS és DR. POPOVICS SÁNDOR

kutatási eredményei

Tartalomjegyzék

1. RÉSZ



Debrecen, 1925. március 28.
✞ Budapest, 2011. december 4.

Budapest, 1921. december 21.
✞ Landsdowne (USA), 2010. január 14.

Popovics Sándor – Gáspár Géza: Jelentés a friss beton konzisztenciájának (folyósságának) mérésére vonatkozó vizsgálatokról. Budapest, 1952. szeptember 29.

Popovics Sándor – Ujhelyi János: Az 1952.évben, illetve 1953. I. félévben az ÉTI Minősítő Laboratóriuma által végzett betonkocka vizsgálatok kiértékelése. Magyar Építőipar 1953. 12. szám. Pp. 389-394.

Popovics Sándor – Ujhelyi János: Az ÉTI Minősítő Laboratórium Mechanika Szakosztályán 1953. évben végzett cementvizsgálatok kiértékelése

Popovics Sándor – Ujhelyi János: Az 1952. évben, illetve 1953. I. félévben az ÉTI Minősítő Laboratórium Mechanikai Szakosztálya által végzett betonkocka vizsgálatok kiértékelése. Építéstudományi Intézet, Tudományos műszaki beszámoló. 1953.10.07.

Popovics Sándor – Ujhelyi János: Az ÉTI 1953. évben végzett cementvizsgálatainak kiértékelése. Építőanyag, 1954. 9. pp. 307-312.

Ujhelyi János: Cementmentes vakoló- és falazóhabarcsok alkalmazásának ipari bevezetése. Építéstudományi Intézet jelentése. Budapest, 1958.

Ujhelyi János: Kohóhabsalakbetonok. Építőanyag, 1959. 12. pp. 429-440.

Ujhelyi János: A könnyűadalékos beton fajtái, összetételének tervezése és a beton készítése. Mérnöki Továbbképző Intézet előadássorozatából. 1960.

Ujhelyi János: Könnyűadalékanyagos beton alkalmazása feszített szerkezetekhez. Magyar Építőipar, 1961. 9. pp. 401-405.

Ujhelyi János: A porózus adalékanyagú könnyűbeton összetételének tervezése. Építőanyag, 1962. 2. pp. 97-101.

Ujhelyi János: A könnyűadalékanyagos betonok összetételének tervezése és szilárdságának előbecslése. Kandidátusi értekezés, 1967. **Lásd e mappa folytatásának 3. részében**

Ujhelyi János: Új eredmények és törekvések a betontechnológiában. Magyar Építőipar, 1974. 12. pp. 724-728.

Ujhelyi, János: Industrial application of volcanic materials in Iceland. Technical Report. Reykjavík, October 1975. **Lásd: PÁLYATÁRSAK-írásai. UJHELYI János: Industrial...**

Ujhelyi János: A beton és vasbeton készítés új műszaki irányelvei (ÉSZKMI 19-77). Magyar Építőipar 1977. 8. pp. 480-485.

Ujhelyi János: A betonok szilárdsági szórásának és a szilárdság valószínű eloszlásának vizsgálata. Építéstudományi Intézet kutatási jelentése, 1978. december

Jelentés
a friss beton konzisztenciájának (folyósságának) mérésére vonatkozó vizsgálatokról

Budapest, 1952. szeptember 29.

Az „Építéshelyi anyagvizsgálati módszerek kutatása" témakörben kísérleteket végeztünk a beton konzisztencia mérésére. Ezekre a kísérletekre már azért is szükség volt, mert behatolási próbával, továbbá a MNOSZ 934-51. 1. módosításban szabványosított 20 cm magas csonkakúp roskadási és terülési vizsgálataival végzett konzisztencia mérések értékei hazai viszonyok között még nincsenek tisztázva. A vizsgálat célja kettős volt:

1. Megvizsgálni, hogy az építéshelyen milyen egyszerű módszerekkel lehet a betonkeverék egyenletességét, tehát a szemszerkezetnek, cementtartalomnak és a vízmennyiségnek a kiírás szerinti megfelelő és egyenletes voltát folyamatosan ellenőrizni.
2. Megvizsgálni, hogy hogyan és ilyen mérési határokon belül lehet számértékkel helyettesíteni a „földnedves", „plasztikus" stb., a betonkonzisztencia jellemzésére ezideig úgyszólván kizárólagosan használt fogalmakat, mert hiszen ezen utóbbiak csak szemlélettel lévén megállapíthatók, a vizsgáló személytől is igen nagy mértékben függnek.

Márpedig a konzisztencia kellő megválasztására, illetve az előírt konzisztencia gondos betartásának objektív ellenőrzésére feltétlenül szükség van. A megszilárdult beton ugyanis a megkívánt minőségi követelményeknek csak akkor felel meg, ha az alkalmazott tömörítési eljárással jól bedolgozható. Közismert tény, hogy mennél nedvesebb a beton, annál kevesebb munkával lehet kellőképpen tömörré tenni. Ezzel szemben viszont a betonminőség fokozása éppen a készítési víz mennyiségének a csökkentését kívánja meg. E két ellentétes irányú követelmény folytán a vízmennyiség értékének – tehát a konzisztenciának is – van egy optimális értéke; ez az a legkisebb vízmennyiség, amely mellett az éppen alkalmazandó tömörítési móddal a beton még jól bedolgozható. A legkedvezőbb konzisztenciának az építőipar számára történő meghatározása, továbbá a megbízható építéshelyi konzisztencia ellenőrzés módszerének a kivizsgálása tehát műszaki és gazdasági szempontból egyaránt fontos.

A kísérletek leírása

Vizsgálataink során kb. 150 különböző összetételű betonkeveréket vizsgáltuk meg. Az alkalmazott adalékanyag minden esetben dunai homokos kavics volt, mégpedig a MNOSZ 15022-51.Á. vasbeton szabályzatban előírt I., II. és III. szemszerkezettel és 20 mm legnagyobb szemnagysággal. Csupán ellenőrzésképpen vizsgáltunk néhány 15 mm legnagyobb szemnagyságú homokos kavicsot, továbbá lépcsős szemszerkezetű adalékanyagot is.

A felhasznált cement túlnyomórészt tatai 500-as cement volt. Végeztünk azonban kísérleteket selypi 600-as (Alit) cementtel is, és a különféle 1953. évi cementekkel is. Cementadagolás a gyakorlatilag számbajöhető 100-600 kg/m^3 határok között változott, a víz/cement tényező pedig 0,3 – 1,3 érték között volt.

A friss beton konzisztencia mindezeknek a következtében a szélsőségeket is magába foglaló száraz földnedves – önthető állapot között változott.

A vizsgálat menete az volt, hogy a megkevert betonnak megállapítottuk szemlélet alapján a konzisztenciáját, majd négyféle módszerrel mértük a konzisztenciára jellemző számértéket. A négy módszer a következő volt:

1) *Roskadási vizsgálat.* Ezt a vizsgálatot az MNOSZ 934-51.1.mód.-ban leírt méretű – tehát alul 200 mm, felül 120 mm átmérőjű és 200 mm magasságú – csonkakúppal végeztük a szabványban leírt bedolgozással. A folyósság jellemzésére a betontest ***r*** roskadását vettük cm-ben kifejezve, vagyis meghatároztuk a csonkakúp óvatos felemelésével kiformázott és megroskadt betontest legmagasabb pontjának távolságát a mellé helyezett üres forma tetejére vízszintesen fektetett vonalzó alsó síkjától.

2) *Terülési vizsgálat.* Az 1) alatti vizsgálatot az MNOSZ 934-51. 1.mód.-ban leírt 70×70 cm méretű és 16 kg súlyú rázóasztalon végezve, a roskadás meghatározása után ugyanazzal a próbatesttel mértük 15-szöri rázás után a terülést. A konzisztencia mérésére a rázás következtében szétterült beton közepes átmérője ***t*** szolgált cm-ben kifejezve.

3) *Átalakítási (Powers) próba.* E vizsgálat a Powers-készülék segítségével az 1) és a 2) alatti csonkakúp alakú betontestet rázással hengerré alakítja át. A rázást a 2) alatti rázóasztalon végeztük. A konzisztencia mérésére a következő értékeket vettük:

$$p = 0{,}16 \times v \times x$$

ahol p = a konzisztenciára jellemző számérték, v = a hengerré átalakított betonvastagság, cm, x = az átalakításhoz szükséges rázások száma.

Ha a betontest legfeljebb 100 ütéssel nem volt hengerré alakítható, akkor a vizsgálatot végre nem hajthatónak tekintettük.

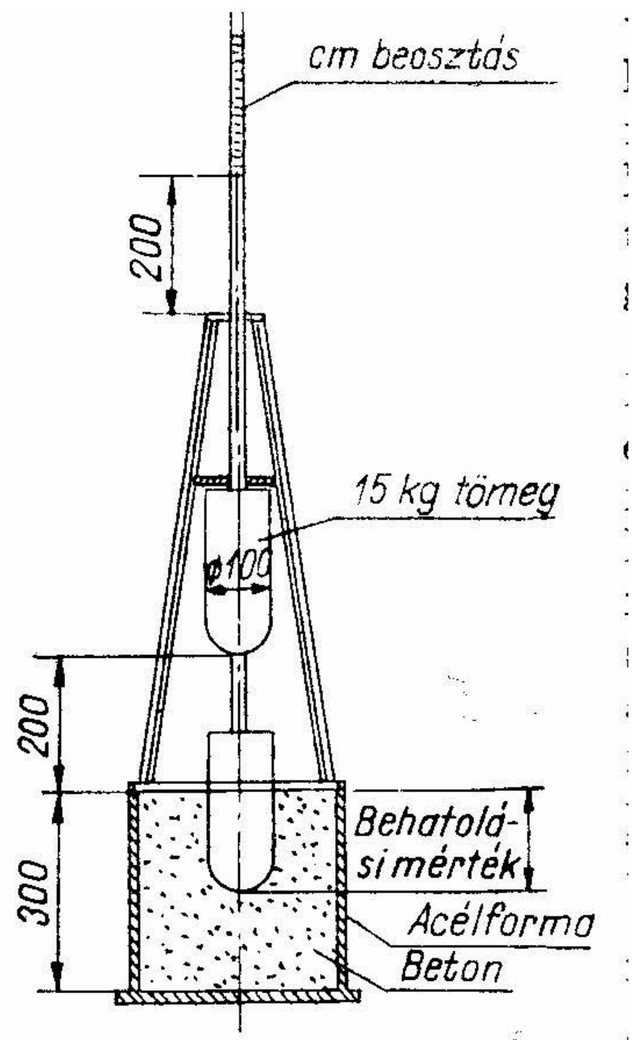
4) *Behatolási (Graf) próba.* Ezt a vizsgálatot a DIN 1048-ban leírt készülékkel végeztük (lásd 1.ábra). A készülék két részből áll:

a) 15 kg súlyú kör keresztmetszetű, acél, behatoló hengerből

b) megfelelő állványzatból

Az acél henger 10 cm átmérőjű és mintegy 30 cm hosszú, alul félgömbben végződik. Felső végéhez vezető rúd csatlakozik, amelynek cm beosztásán az acélhengernek a friss betonba történt behatolása leolvasható. Az acéltest súlya a vezető pálcával együtt 15 kg.

Az állvány talpazata segítségével felerősíthető egy 30 cm élhosszúságú próbakocka formájára úgy, hogy a friss betonnak a behatoláskor létrejövő alakváltozásait ne gátolja. Az acélhenger a formába bedolgozott és lesimított beton felszínétől számítva 20 cm magasságban rögzíthető. Ez a kiinduló állás. A vizsgálat végrehajtása a következő:



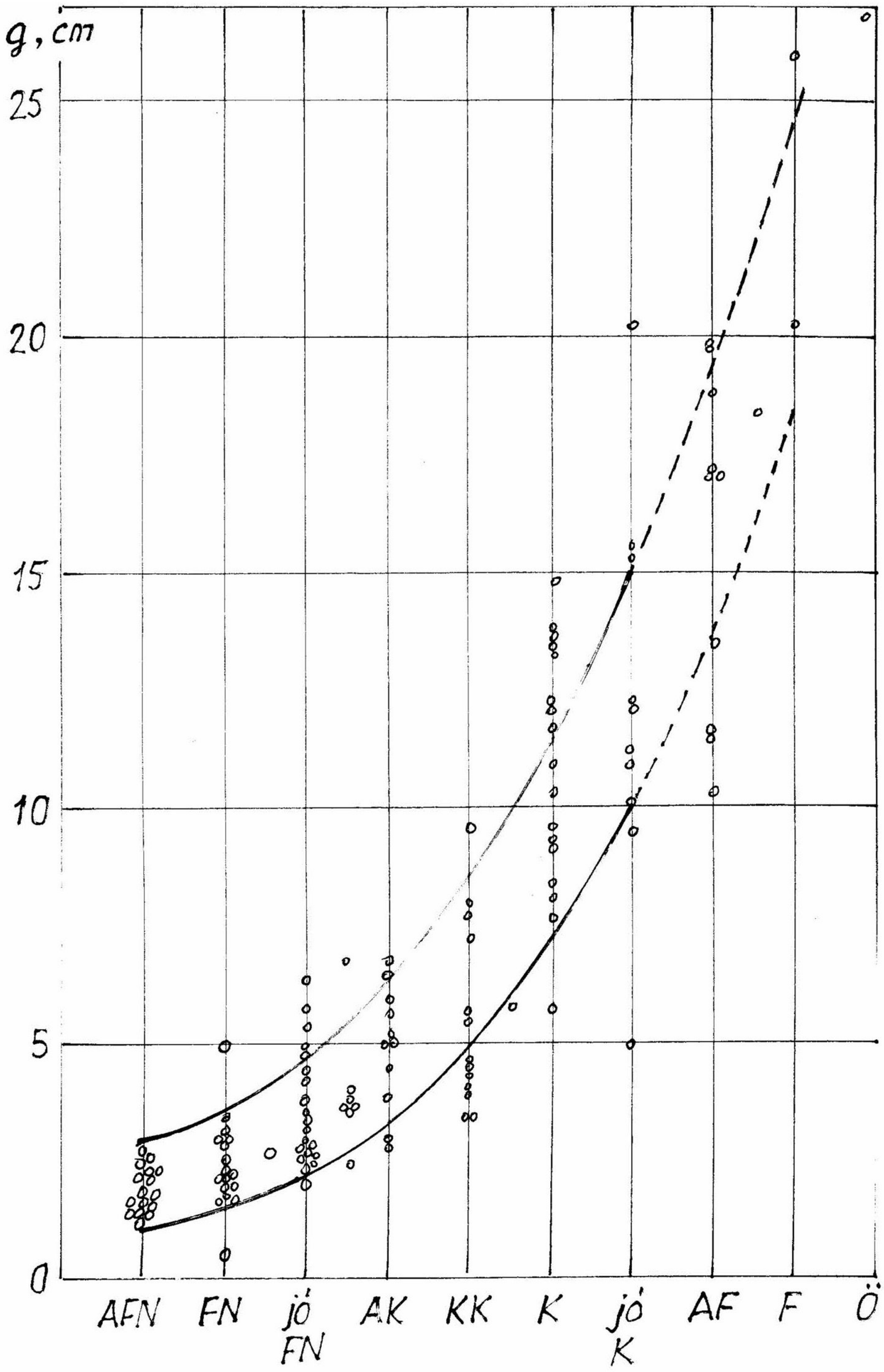
1. ábra: Graf behatolás vizsgáló készülék

A vizsgálandó betont 2 rétegben dolgozzuk be a 30 cm-es formába. Minden réteget a szabványos 12 kg súlyú döngölő 27 ütésével kell tömöríteni. Bedolgozás után a formán felül maradó felesleges betont el kell távolítani. A behatolási készüléket a teli forma fölé állítjuk középre, majd a behatolási testet szabadon ráejtjük a kiinduló állásból a betonra. Közvetlenül a test behatolása után a vezetőrúd beosztásán a behatolás ***g*** értékét cm-ben leolvassuk. A konzisztenciát a ***g*** szám jellemzi.

Vizsgálati eredmények

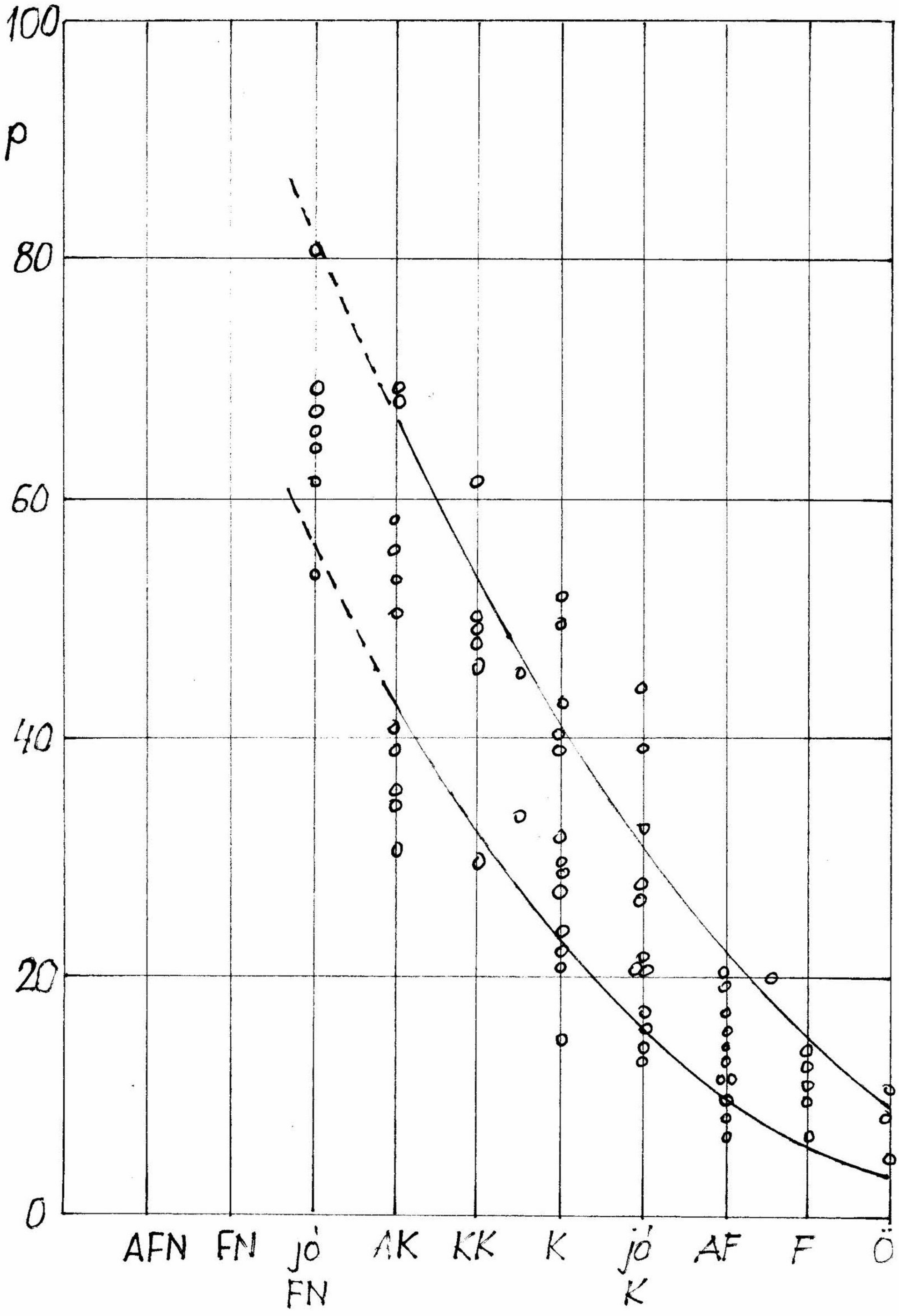
A különböző betonokkal végzett vizsgálatok eredményei a 2.-5. ábrákon vannak feltüntetve, mégpedig a *2. ábrán* a ***g*** behatolási szám, a *3.ábrán* a ***p*** átalakítási szám, a *4.ábrán* a ***t*** terülési szám és az 5.ábrán az ***r*** roskadási szám összefüggése a szemlélettel megállapított konzisztenciával. A megállapított összefüggések a betonnak csak a gömbölyű szemű adalékanyagára érvényesek.

*2. ábra: Összefüggés a **g** behatolási szám és a szemlélet alapján megállapított konzisztencia között*

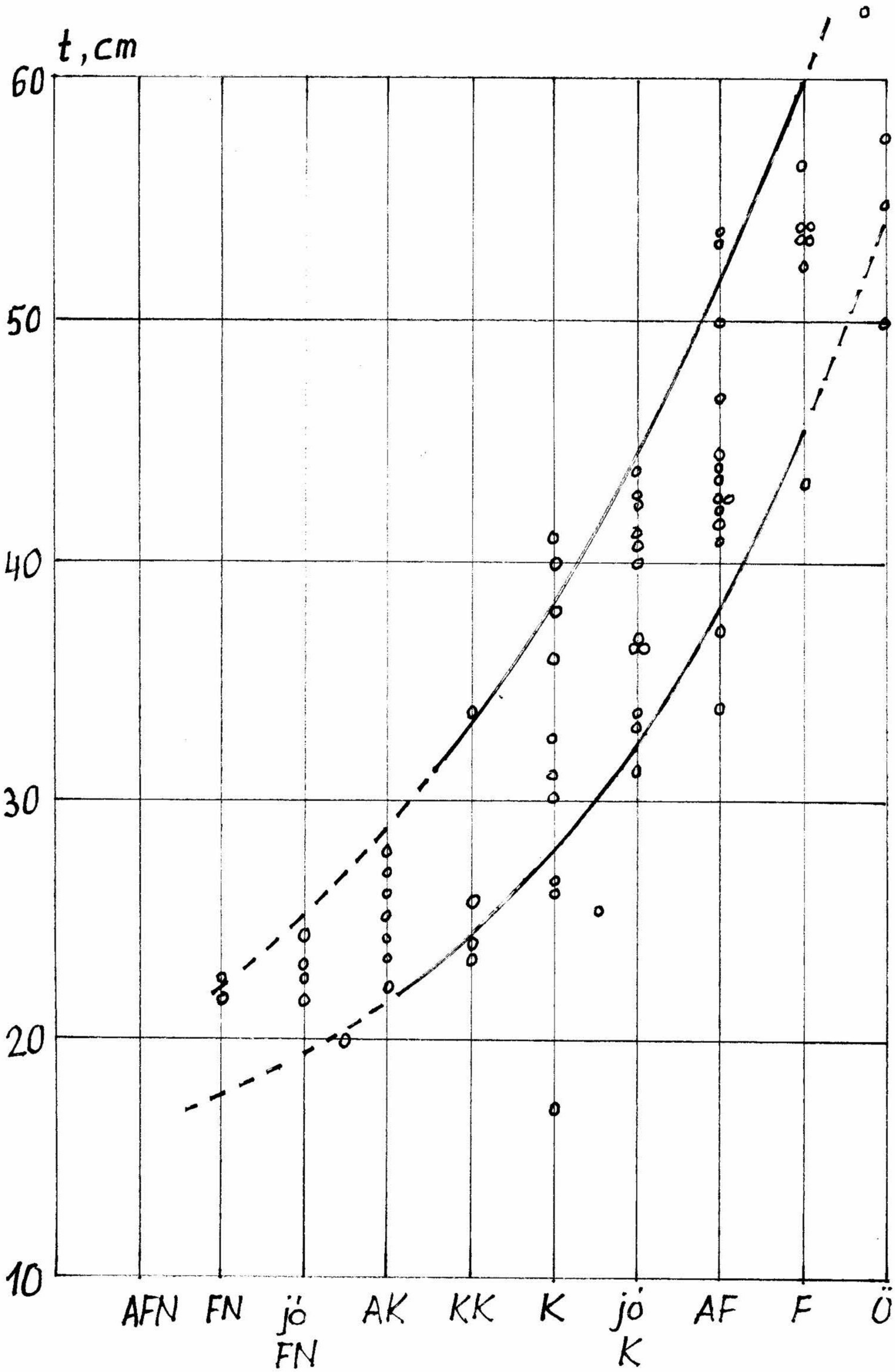


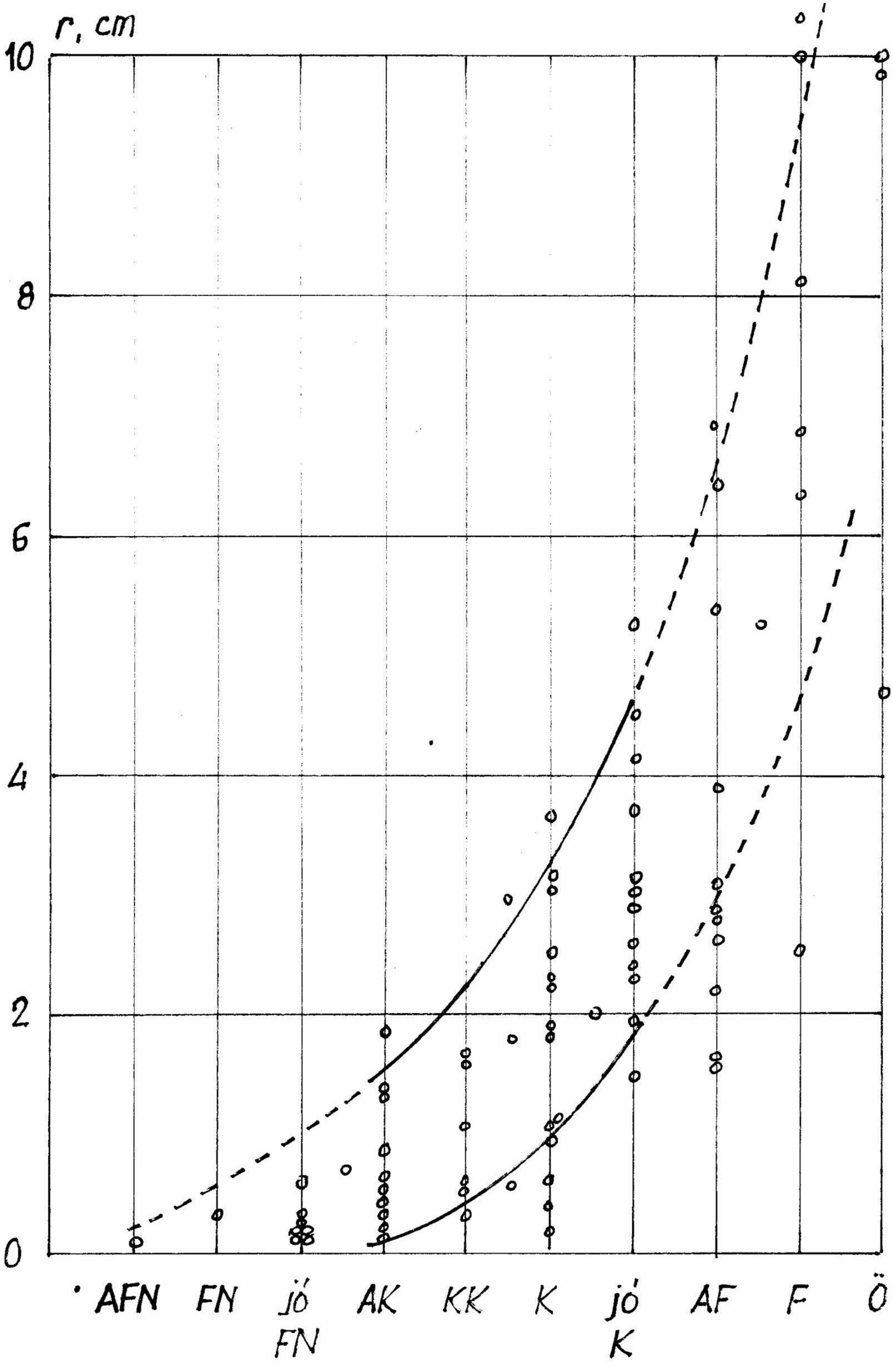
Jelmagyarázat: ***AFN:*** gyengén földnedves, ***FN:*** földnedves, ***jóFN:*** jó földnedves, ***AK:*** félplasztikus, ***KK:*** gyengén plasztikus, ***K:*** plasztikus, ***jóK***: erősen plasztikus, ***AF:*** sűrűn folyós, ***F:*** folyós, ***Ö:*** önthető (a 3. – 5. ábrákon a jelmagyarázat ugyanez)

*3. ábra: Összefüggés a **p** Powers-féle szám és a szemlélet alapján megállapított konzisztencia között*



*4. ábra: Összefüggés a **t** terülési szám és a szemlélet alapján megállapított konzisztencia között*

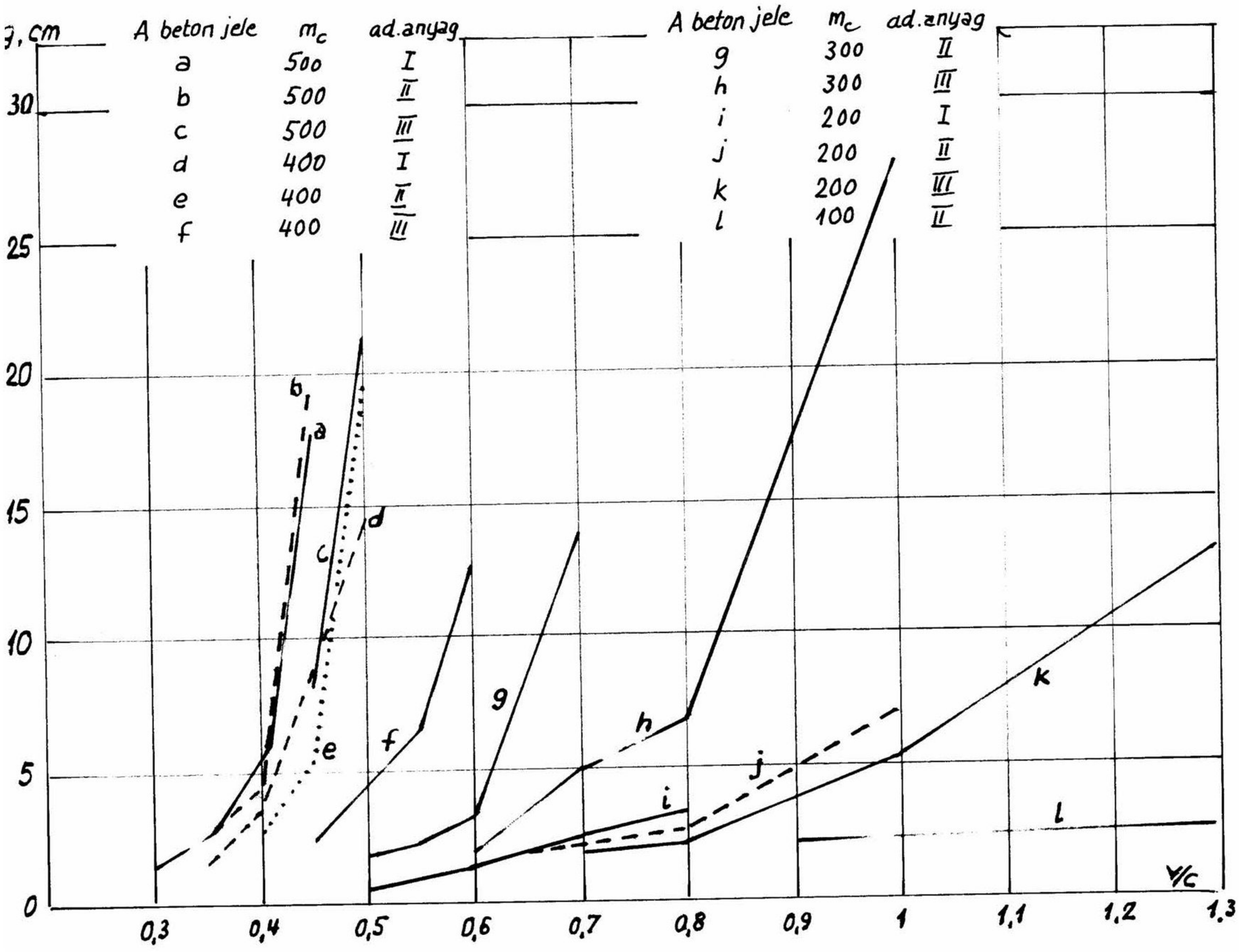




*5. ábra: Összefüggés az **r roskadási szám** és a szemlélettel megállapított konzisztencia között*

A laboratóriumi kísérleteken kívül két alkalommal az építési gyakorlat által felhasznált betonok konzisztenciáját is mértük. Egy ízben a 43/3 Építőipari Vállalat Karácsonyi-utcai építkezésén vasbeton szerkezetekhez alkalmazott vibrált betonja, a másik alkalommal az Épületelemgyár Hill-pallókhoz alkalmazott, ugyancsak vibrált betonja volt a vizsgált anyag. Az itteni eredmények a laboratóriumban végzett vizsgálatokkal mindenben megegyeztek. Mindkét esetben jó földnedves – félplasztikus konzisztencia mellett *g = 4-5 cm* értéket kaptunk.

A szemlélet szerinti konzisztencia megítélése a legbiztosabb földnedves állapotban, legbizonytalanabb plasztikus – jó plasztikus folyósság mellett. A 2.–5. ábrákon mutatkozó szórásokban tehát nemcsak a konzisztencia méréseknek, hanem a szemlélet alapján történő megítélésnek el nem hanyagolható bizonytalanságai is benne vannak. Ezt az állítást megerősíti a 6. ábra, amely a *g behatolási értéket* mutatja különböző összetételű betonok esetén a víz/cement tényező függvényében. Láthat, hogy ahol a szemlélet okozta bizonytalanság ki van küszöbölve, ott milyen csekély a valószínű törvényszerűséget kifejező „sima" görbétől való eltérés.



6. ábra: A g behatolási szám a betonösszetétel és a víz/cement tényező függvényében (tatai 500-as cement, dunai homokos kavics) (a görbékre írt betű a keverék összetételének a jele)
Jelmagyarázat: $\mathbf{m_c}$ *= cementtartalom, kg/m*^{3}, ***ad.anyag****: a homokos kavics szemszerkezetének osztálya*

A 2.–5. ábrákból kitűnik, hogy ugyanazon mérési eljárás a különböző konzisztenciákra általában eltérő szórású eredményeket ad, vagyis más szóval 1-1 készülék-fajta a konzisztenciának csak egy meghatározott szakaszán ad megbízható képet. Kísérleteink alapján az egyes készülékekre gömbölyű adalékanyag esetén az I. táblázatban közölt alkalmassági határokat lehet megállapítani.

Az alkalmazhatósági területeket az ábrákon teljes vonallal tüntettük fel.

1. táblázat

Konzisztencia-mérés megnevezése	*Alkalmazhatósági határok*
Behatolási próba (g) Átalakítási próba (p) Terülési próba (t) Roskadási próba (r)	Gyengén földnedves – jó plasztikus Félplasztikus – önthető Gyengén plasztikus – sűrűn folyós Félplasztikus – jó plasztikus

A mérési módszerek kiértékelése

1. A fentiek szerint a földnedves konzisztencia vizsgálatára a ***behatolási próba***, jellemzésére pedig a ***g behatolási szám*** látszik a legalkalmasabbnak és pedig – ahogyan a 2. ábrából kitűnik – a 2.táblázatban közölt kerekített értékekkel (zárójelben az eddigi kísérletek szerint várható legkisebb és legnagyobb értékeket közöljük).

2. táblázat

Konzisztencia szemlélet szerint	*Behatolási szám* ***g***, *cm*
Gyengén földnedves	2,0 (1 – 8)
Földnedves	2,5 (1,5 – 3,5)
Jó földnedves	2,5 (2 – 5)
Félplasztikus	5,0 (3 – 7)
Gyengén plasztikus	7,0 (5 – 9)
Plasztikus	10,0 (7 – 13)
Jó plasztikus	13,0 (10 – 16)

A behatolási próba előnye az, hogy egyszerű, nem kényes berendezéssel végezhető. A vizsgálat megbízható végrehajtása különösebb szaktudást nem igényel. A vizsgálati eredmények kiértékelése szintén nagyon egyszerűen, egyetlen cm beosztás leolvasásával történik. Hátránya ennek az eljárásnak az, hogy a friss betonnak az összetartásáról, esetleges szétkeveredési hajlamáról nem ad felvilágosítást.

2. A plasztikus konzisztencia mérésére és vizsgálatára az ***átalakítási (Powers) próba*** látszik legmegbízhatóbbnak. Az egyes konzisztencia fokozatokra jellemző kerekített átlagos ***p*** értékek – továbbá zárójelben az eddigi kísérletek szerint legnagyobb és legkisebb értékek – a 3. ábra alapján a 3. táblázatban vannak összefoglalva. Az átalakítási próba előnye, hogy plasztikus és önthető konzisztenciákon belül ez az eljárás adta a beton bedolgozhatóságáról eddig a legteljesebb képet. Mint a 3. ábrából látszik, az erősen plasztikus, sűrűn folyós és önthető konzisztenciájú, különböző összetételű betonok ***p*** értékében úgyszólván alig van szórás. Hátránya, hogy a mérés helyes végrehajtásához igen gondos, lelkiismeretes munkára van szükség és így ezidőszerint csak laboratóriumi konzisztencia mérések céljára javasoljuk.

3. táblázat

Konzisztencia szemlélet szerint	*Terülési szám,* ***t***, *cm*
Gyengén plasztikus	30 (26 – 34)
Plasztikus	25 (20 – 40)
Jó plasztikus	40 (34 – 46)
Erősen plasztikus	45 (29 – 52)
Sűrűn folyós	55 (48 –62)

3. Építéshelyen a plasztikus konzisztencia mérésére a ***terülési próba*** alkalmas. A 4. táblázatban a jellemzőnek talált ***t*** terülési számok kerekített átlagértékét, illetve zárójelben az eddigi kísérletek alapján várható legkisebb és legnagyobb értékét közöljük. A terülési próba egyúttal a beton szétkeveredési hajlamáról, vagyis a finom és a durva részek egymástól való elkülönüléséről is ad felvilágosítást, amennyiben kis összetartó képességű betonokkal ezt a vizsgálatot egyáltelán nem lehet elvégezni, mert ezek rázás közben szétterülés helyett darabokra esnek. Az ilyen módon részeire szétrázódott próbatest középátmérője természetesen nem jellemző a konzisztenciára. A szétterülési próba hátrányának tudható be az, hogy, hogy a szétkeveredési hajlamról csak szemlélet alapján tehát szubjektív módon ad képet. Ezen kívül, ha a próbatest szétrázódott, ez még csak azt

4. táblázat

Konzisztencia, szemlélet szerint	*Terülési szám, **t** , cm*
Gyengén plasztikus	30 (26 – 34)
Plasztikus	35 (30 – 40)
Jó plasztikus	40 (34 – 46)
Erősen plasztikus	45 (39 – 52)
Sűrűn folyós	55 (48 – 62)

mutatja, hogy a vizsgált anyag összetartó képessége nem a legjobb, de hogy még felhasz-nálható-e, vagy sem, arra vonatkozóan nem nyújt felvilágosítást. Például 250 kg/m^3 cementadagolás és I. szemszerkezet mellett a terülési vizsgálatot nem lehet elvégezni, annak ellenére, hogy ez a keverék a gyakorlatban még bedolgozhatónak, felhasználhatónak bizonyul.

Megjegyezzük, hogy az esetleges szétkeveredési hajlam megállapítása és a beton összetételének a megjavítása által történő megszüntetése igen lényeges. Ugyanis a friss betonnak pl. a betonkeverőből való kivétele, szállítása, a mintaállványzatba való betöltése mind megannyi lehetőség a szétkeveredésre. A szétkeveredett beton pedig bedolgozva egyenlőtlen összetételű, minőségű, kavicsfészkes szerkezetet ad.

4. Az egyszerűsége miatt használt ***roskadási próba*** mutatkozott a vizsgált eljárások közül a legkevésbé megfelelőnek. Kétségtelen ugyan, hogy a plasztikus konzisztencia bizonyos fokozataiban a roskadás nagysága függ a folyósságtól, azonban éppen a roskadás nagyságát igen sok mellékkörülmény zavarhatja, aminek folytán ennek az eljárásnak a szórása a legnagyobb, felhasználhatósági területe pedig a legkisebb. Az 5. ábrából láthatólag a konzisztenciára jellemző roskadások kerekített ***r*** értékeit, továbbá zárójelek között az eddigi kísérleteink szerint várható legkisebb és legnagyobb roskadás értékeit az 5. táblázat foglalja össze.

5. táblázat

Konzisztencia, szemlélet szerint	*Roskadási szám, **r** , cm*
Félplasztikus	1,0 (0,3 – 1,7)
Gyengén plasztikus	1,5 (0,7 – 2,3)
Plasztikus	2,0 (1,0 – 3,0)
Jó plasztikus	3,5 (2,0 –5,0)

A roskadási vizsgálatot csak jó összetartó képességű keverékkel lehet elvégezni, úgy hogy az előírt mértékű roskadás elérése a terülési próbához hasonlóan csak szükséges, de nem elégséges feltétele a beton jó bedolgozhatóságának.

5. A 2., 3., és 4. alatti kísérletek eredményeire vonatkozóan még megjegyezzük azt, hogy a hazai és a külföldi szakkönyvek általában a 30 cm magasságú csonkakúppal végzett vizsgálatok eredményeit tartalmazzák, így az általunk közölt eredményekkel való közvetlen összehasonlítás nem lehetséges.

Összefoglalás

A földnedves konzisztenciánál elsősorban a keverék eléggé nedves volta kérdéses, plasztikus konzisztenciánál e mellett még az, hogy a keverék kellő összetartó képességű, mozgékonyságú legyen, illetve ne álljon fenn a szétkeveredés veszélye.

Ezeket tekintve javasoljuk, hogy adatgyűjtés céljából 10 építőipari vállalatot lásson el az ÉM földnedves konzisztencia mérésére behatolási készülékkel, plasztikus konzisztencia mérésére pedig a terülési próbához szükséges formával és rázóasztallal, utasítsa továbbá ezeket a vállalatokat a konzisztencia folyamatos mérésére. És az eredmények, ill. észrevételek kiértékelhető jegyzőkönyvű rögzítésére. Vagyis meg kell adniok a cementfajtát, cementadagolást (kg/m^3), adalékanyagot, annak szemszerkezetét, a víz/cement tényezőt, a bedolgozás módját, a bedolgozhatóságot és a szemlélet szerinti konzisztenciát, továbbá a konzisztenciát jellemző számértéket.

Ha az építéshelyi tapasztalatok a laboratóriumi eredményekkel egybehangzóan egyértelműek lesznek, akkor lehetséges lesz

a) a különböző földnedves fokozatok szemlélet szerinti megítélése helyett a ***g*** behatolási szám megadása a 2. táblázat értékeinek megfelelően a költségvetési kiírásokban, ill. lehetséges lesz, hogy az építéshelyen a földnedves konzisztenciájú betonok minőségének egyenletességét a behatolási próbával folyamatosan ellenőrizzék;

b) a többé-kevésbé plasztikus konzisztencia fokozatok szemlélet szerinti megítélése helyett a ***t*** terülési szám megadása (pl. a 4. táblázat szerint). Továbbá lehetővé válik, hogy az építéshelyen a plasztikus konzisztenciájú beton minőségének egyenletességét, továbbá a keverék kellő összetartását a szétterülési próbával ellenőrizzék.

Az átalakítási próba véleményünk szerint egyelőre csak laboratóriumi vizsgálatok céljait szolgálja. A roskadási vizsgálatot pedig a jellemzőbb behatolási vagy terülési próba pótolja.

Végzetül hangsúlyozzuk, hogy a fenti vizsgálataink és az azokból levont következtetések csak kezdő lépésnek tekinthetők, amennyiben a céljuk elsősorban és egyelőre az, hogy a konzisztencia mérés fontos problémájának végleges tisztázásához kiinduló alapot nyújtsanak.

Budapest, 1952. szeptember 29. Popovics Sándor s.k. előadó

Gáspár Géza s.k. osztályvezető

Magyar Építőipar, 1953. 12. pp. 389-394

Az 1952. évben, illetve 1953. I. félévben az ÉTI Minősítő Laboratóriuma által végzett betonkocka vizsgálatok kiértékelése

POPOVICS SÁNDOR – UJHELYI JÁNOS

1. Bevezetés

Az ÉTI Minősítő Laboratóriumában 1952. évben 1232 db, 1953. I. félévben pedig 1105 db betonvizsgálati megbízás érkezett. Egy-egy megbízás 1-6 db., átlagosan 3-4 db. 20 cm élhosszúságú betonkocka vizsgálatára vonatkozott.

1951-ben 989 db. betonvizsgálati megbízásunk volt. Ehhez képest az 1952. évi betonvizsgálatok száma kb. 125 %, az 1953. I. félévi betonvizsgálatoké pedig 112 % volt. A betonvizsgálatok száma tehát az építkezésekre fordított beruházási összegek növekedésével egyidejűleg erősen felduzzadt.

Az építőiparunk előtt álló további nagy feladatok időszerűvé teszik azt, hogy ezeknek az összegyűjtött laboratóriumi eredményeknek az alapján megvizsgáljuk a kivitelező vállalatoknak a betonozás terén végzett munkáját. Mindjárt le kell rögzítenünk azonban azt, hogy a rendelkezésünkre álló nagyszámú vizsgálati eredmény nem értékelhető ki teljes egészében a következő okok miatt:

a) A megbízólevelek a próbatestek összetételére, készítésére és utókezelésére sok esetben vagy egyáltalán nem, vagy csak kevés számban közölnek adatokat.
b) A megbízólevelek által közölt adatok gyakran nyilvánvalóan tévesek, vagyis a cementtartalom, az adalékanyag, víz/cement tényező stb. megbízólevélben közölt jellemzői és a törési eredmények között ellentmondás tapasztalható.
c) Sokszor csak 1 vagy 2 db. próbatestet küldenek vizsgálatra, holott mértékadó vizsgálati eredmény nyeréséhez legalább 3 db. azonos összetételű és korú, egyenlő körülmények között készült próbatest szükséges.

Éppen ezen okok miatt az alábbiakban nem a teljes vizsgálati anyagot dolgoztuk fel, hanem kiragadva egynéhány jellemző adatcsoportot, az ezeknek alapján végzett kiértékelést általánosítottuk.

A betonvizsgálatok nyomószilárdsági eredményei, átlagértékei és szórásai a következők:

1. táblázat: 300 kg/m³ 500-as cementadagolás, + 15 °C tárolási hőmérséklet, 28 napos kor

1.a.táblázat: I. szemszerkezetű adalékanyag, földnedves konzisztencia,

v/c = 0,4 – 0,5

1952. évi vizsgálatok		*1953. I.félévi vizsgálatok*	
Szilárdsági határértékek kg/cm²	*Gyakoriság*	*Szilárdsági határértékek Kg/cm²*	*Gyakoriság*
241 – 260	1	181 – 200	1
261 – 280	5	201 – 220	1
281 – 300	1	221 – 240	2
301 – 320	2	241 – 260	5
321 – 340	7	261 – 280	7
341 – 360	10	281 – 300	8
361 – 380	2	301 – 320	19
381 – 400	1	321 – 340	12
401 – 420	1	341 – 360	16
421 - 440	2	361 – 380	10
		381 – 400	6
		401 – 420	5
		421 - 440	1
Összesen	32	Összesen	93

1.b. táblázat: I. szemszerkezetű adalékanyag, plasztikus konzisztencia,

v/c = 0,5 – 0,6

1952. évi vizsgálatok		*1953. I.félévi vizsgálatok*	
Szilárdsági határértékek kg/cm²	*Gyakoriság*	*Szilárdsági határértékek Kg/cm²*	*Gyakoriság*
181 – 200	2	181 – 200	4
201 – 220	1	201 – 220	3
221 – 240	4	221 – 240	10
241 – 260	11	241 – 260	13
261 – 280	8	261 – 280	5
281 – 300	5	281 – 300	8
301 – 320	4	301 – 320	1
321 - 340	1	321 - 340	2
Összesen	36	Összesen	46

A 89. sz. Miniszteri Utasítás szerinti szilárdság:

	280 kg/cm²		240 kg/cm²	
Átlagos nyomószilárdság, kg/cm²:	335,0	335,7	262,2	251,7
Szórás, kg/cm²:	44,4	50,2	32,2	33,9
Szórás az átlagos szilárdság %-ában:	13,3	14,1	12,3	13,5

1.c. táblázat: II. szemszerkezetű adalékanyag, földnedves konzisztencia,

v/c = 0,5 – 0,6

1952. évi vizsgálatok		*1953. I.félévi vizsgálatok*	
Szilárdsági határértékek kg/cm²	*Gyakoriság*	*Szilárdsági határértékek Kg/cm²*	*Gyakoriság*
161 – 180	2	161 – 180	2
181 – 200	8	181 – 200	3
201 – 220	4	201 – 220	5
221 – 240	13	221 – 240	8
241 – 260	8	241 – 260	10
261 – 280	2	261 – 280	3
281 – 300	1	281 – 300	6
301 – 320	3	301 – 320	2
321 – 340	1	321 – 340	4
		341 – 360	2
		361 – 380	2
		381 – 400	1
		401 – 420	2
Összesen	42	Összesen	50

1.d. táblázat: II. szemszerkezetű adalékanyag, plasztikus konzisztencia,

v/c = 0,6 – 0,7

1952. évi vizsgálatok		*1953. I.félévi vizsgálatok*	
Szilárdsági határértékek kg/cm²	*Gyakoriság*	*Szilárdsági határértékek Kg/cm²*	*Gyakoriság*
101 – 120	1	161 – 180	2
121 – 140	1	181 – 200	3
141 – 160	3	201 – 220	11
161 – 180	2	221 – 240	5
181 – 200	15	241 – 260	5
201 – 220	9	261 – 280	2
221 – 240	4	281 – 300	2
241 – 260	4	301 – 320	1
261 – 280	2	321 - 340	1
281 – 300	1		
Összesen	42	Összesen	32

A 89. sz. Miniszteri Utasítás szerinti szilárdság:

	220 kg/cm²		190 kg/cm²	
Átlagos nyomószilárdság, kg/cm²:	232,9	268,8	202,9	231,2
Szórás, kg/cm²:	37,9	67,0	36,5	35,8
Szórás az átlagos szilárdság %-ában:	16,3	24,9	18,0	15,5

2. táblázat: 270 kg/m³ 500-as cementadagolás, +15 °C fölötti tárolási hőmérséklet, 28 napos kor

2.a. táblázat: I szemszerkezetű adalékanyag, földnedves konzisztencia,

v/c = 0,4 – 0,5

1952. évi vizsgálatok		*1953. I.félévi vizsgálatok*	
Szilárdsági határértékek kg/cm²	*Gyakoriság*	*Szilárdsági határértékek Kg/cm²*	*Gyakoriság*
141 – 160	1	221 – 240	3
161 – 180	1	241 – 260	2
181 – 200	2	261 – 280	2
201 – 220	1	281 – 300	2
221 – 240	1	301 – 320	5
241 – 260	2	321 – 340	1
261 – 280	4	341 – 360	1
281 – 300	4	361 – 380	1
301 – 320	3		
321 – 340	2		
341 – 360	1		
361 – 380	1		
Összesen	23	Összesen	17

2.b.táblázat: I. szemszerkezetű adalékanyag, plasztikus konzisztencia,

v/c = 0,5 – 0,6

1952. évi vizsgálatok		*1953. I.félévi vizsgálatok*	
Szilárdsági határértékek kg/cm²	*Gyakoriság*	*Szilárdsági határértékek Kg/cm²*	*Gyakoriság*
141 – 160	2	161 – 180	1
161 – 180	1	181 – 200	1
181 – 200	3	201 – 220	3
201 – 220	4	221 – 240	6
221 – 240	14	241 – 260	3
241 – 260	9	261 – 280	1
261 – 280	2	281 – 300	1
281 – 300	2	301 – 320	2
301 – 320	1	321 - 340	1
321 – 340	1		
341 – 360	1		
361 – 380	1		
381 – 400	1		
401 – 420	1		
421 – 440	1		
Összesen	44	Összesen	19

A 89. sz. Miniszteri Utasítás szerinti szilárdság:

	250 kg/cm²		210 kg/cm²	
Átlagos nyomószilárdság, kg/cm²:	270,0	286,6	251,4	243,7
Szórás, kg/cm²:	56,4	40,8	61,3	41,2
Szórás az átlagos szilárdság %-ában:	20,9	14,2	24,4	17,0

2.c. táblázat: II. szemszerkezetű adalékanyag, földnedves konzisztencia,

v/c = 0,5 – 0,6

1952. évi vizsgálatok		*1953. I.félévi vizsgálatok*	
Szilárdsági határértékek kg/cm²	*Gyakoriság*	*Szilárdsági határértékek Kg/cm²*	*Gyakoriság*
61 – 80	1	121 – 140	2
81 – 100	1	141 – 160	2
101 – 120	1	161 – 180	3
121 – 140	2	181 – 200	6
141 – 160	2	201 – 220	9
161 – 180	3	221 – 240	10
181 – 200	6	241 – 260	9
201 – 220	15	261 – 280	6
221 – 240	8	281 – 300	4
241 – 260	2	301 – 320	3
261 – 280	1	321 – 340	1
281 – 300	1	341 – 360	2
301 – 320	1	361 – 380	2
321 – 340	2		
341 – 360	1		
361 – 380	1		
Összesen	48	Összesen	59

2.d. táblázat: II. szemszerkezetű adalékanyag, plasztikus konzisztencia,

v/c = 0,6 – 0,7

1952. évi vizsgálatok		*1953. I.félévi vizsgálatok*	
Szilárdsági határértékek kg/cm²	*Gyakoriság*	*Szilárdsági határértékek Kg/cm²*	*Gyakoriság*
61 – 80	2	121 – 140	2
81 – 100	1	141 – 160	5
101 – 120	3	161 – 180	12
121 – 140	8	181 – 200	20
141 – 160	7	201 – 220	19
161 – 180	19	221 – 240	8
181 – 200	30	241 – 260	3
201 – 220	6	261 – 280	2
221 – 240	4	281 – 300	1
241 – 260	2	301 – 320	2
261 – 280	1		
281 – 300	1		
301 – 320	1		
321 – 340	1		
Összesen	86	Összesen	74

A 89. sz. Miniszteri Utasítás szerinti szilárdság:

	200 kg/cm^2		18kg/cm^2	
Átlagos nyomószilárdság, kg/cm^2:	212,1	239,5	179,8	201,1
Szórás, kg/cm^2:	59,8	54,6	43,6	45,6
Szórás az átlagos szilárdság %-ában:	28,2	22,8	24,3	17,7

2. Vizsgálati eredmények

Az 1. és 2. táblázatban az 500-as cementtel készült betonok

- 300, ill. 270 kg/m^3 cementtartalom,
- I., ill. II. szemszerkezetű adalékanyag, továbbá
- földnedves, ill. plasztikus konzisztencia

szerint csoportosított szilárdsági eredményeit közöljük. A megadott értékek az egyes vizsgálatok átlagos szilárdságát jelentik.

A betonösszetételre vonatkozó adatokat a megbízólevelekből vettük át. A töréseket a közölt készítési időponttól számítva 28 napos korban végeztük. Ugyancsak a megbízó levelek szerint az alábbiakban számításba vett esetekben

a próbatesteket rendszeres locsolással utókezelték,

a tárolási hőmérséklet +15 °C fölött volt.

Az 1. és 2. táblázatban közöltük még a szilárdsági eredmények egyes csoportjainak átlag értékét (számtani közép), szórását (négyzetes középeltérés), és a szórásnak az átlagos szilárdság százalékában kifejezett értékét, valamint a 89. sz. Miniszteri Utasítás szerint a betonösszetételnek értelemszerűen megfelelő szilárdsági előírásokat is.

Feltűnő, hogy a kapott szilárdsági eredmények a 89. sz. Miniszteri Utasítás által előírt megfelelő nyomószilárdsági értékektől inkább felfelé, mint lefelé térnek el.

Az 1. és 2. táblázatban csak azokat az adatokat dolgoztuk fel, amelyeknél a közölt víz/cement tényező és konzisztencia nem volt egymással nyilvánvaló ellentmondásban. E megjegyzésünkkel kapcsolatban fel kell hívni a figyelmet arra a tényre, hogy a betonkeverékek konzisztenciáját építkezéseinknél majdnem kivétel nélkül csak szemlélettel, sokszor a szakértelem teljes hiányával állapítják meg. Ezért fordulhatnak elő olyan esetek – és nem is ritkán –, hogy pl. 270 kg/m^3 500-as tatai cementadagolás, I. szemszerkezetű, tehát kis vízigényű adalékanyaggal készített betonkeveréket földnedves konzisztenciájúnak jelöl a megbízó, s ugyanakkor víz/cement tényezőként 1,2 értéket közöl. Ez természetesen azt is jelentheti, hogy a beton nem a közölt összetétellel (cementadagolás, szemszerkezet stb.) készült.

Ezek a tények nemcsak az eredmények kiértékelését teszik lehetetlenné, hanem felhívják a figyelmet arra, hogy a műszaki és gazdasági szempontból helyes, céltudatos betonkészítés terén még igen nagy hiányosságok mutatkoznak. Ennek oka az építkezéseken több esetben tapasztalhat felületesség és szakszerűtlenség.

3. Az előírt és a tényleges szilárdság összehasonlítása

Ugyanezt bizonyítja a 3. táblázat, amely a laboratórium által vizsgált betonkeverékek tényleges nyomószilárdságát a költségvetésben előírt szilárdsággal hasonlítja össze.

3. táblázat: Az előírt szilárdság és a tényleges szilárdság összehasonlítása

Előírt szilárdság, kg/cm²	*1952. év*				*1953. I. félév*			
	A költségvetési előíráshoz képest			*Összes*	*A költségvetési előíráshoz képest*			*Összes*
	kisebb	*nagyobb*	*kisebb*		*megfelelő*	*nagyobb*	*kisebb*	
50	3	8	4	15	4	15	3	22
70	1	-	-	1	-	5	3	8
100	2	-	-	2	4	1	1	6
140	16	55	32	103	39	123	79	241
200	6	8	7	21	34	50	31	115
220	21	18	29	68	17	6	6	29
280	-	-	3	3	5	6	6	17
300	1	-	-	1	9	6	16	31
400	2	2	1	5	1	2	2	5
Összes	52	91	76	219	113	214	147	474
%	23,8	41,5	34,7	100	23,9	45,1	31,0	100

A rendelkezésünkre álló adatok szerint tehát mind az 1952., mind az 1953. I. félévben végzett betonvizsgálatok közül

- a megbízólevélben feltüntetett megkivánt kockaszilárdságnál kisebb szilárdságú betonkeveréket az esetek 24 %-ában,
- a megkivánt szilárdságnak megfelelő betonkeveréket az esetek 33 %-ában,
- az előírt szilárdságnál nagyobb szilárdságú betonkeveréket az esetek 43 %-ában

kaptunk, vagyis az építkezések általunk vizsgált betonanyaga csak egyharmad mennyiségben volt a költségvetési kiírás szerint műszaki és gazdaságossági szempontból egyaránt megfelelő. A betonvizsgálatoknál kapott szilárdsági eredményeket akkor tekintettük megfelelőnek, ha azok a 4. táblázatban feltüntetett határértékek közé estek.

A vizsgálatok alapján sajnos azt kell mondanunk, hogy építkezéseinknél 1953. I. félévben az 952. évhez képest a betonkészítés céltudatossága szempontjából nem mutatkozott fejlődés.

Azt hisszük, hogy nem kell külön hangsúlyozni, hogy ha a betonszilárdság az előírt minimális értéket nem éri el. Az forint összegben ki sem fejezhető károk okozója lehet. Nem lehet azonban szó nélkül hagyni a másik végletet sem, amikor is a szilárdság a szükségesnél feleslegesen nagyobb.

4. táblázat

Előírt betonminőség	*Alsó határ, kg/cm²*	*Felső határ, kg/cm²*
B 50	40	65
B 70	55	80
B 100	80	130
B 140	120	185
B 200	170	260
B 220	185	285
B 280	250	360
B 300	270	390
B 400	360	520

A 3. táblázat adataiból kiszámítottuk azt, hogy a tervszerűtlen betonkészítés milyen megengedhetetlen cementpazarlást okozott.

Az összegszerű kiértékelésnél a 89. sz. Miniszteri Utasítás B.I.8. pontjának azt az előírását vettük figyelembe, mely szerint ellenőrző vizsgálatot általában minden 100 m^3 bedolgozott betonmennyiség után kell végeztetni. Ha feltesszük, hogy a laboratóriumba beérkezett minden vizsgálati megbízás 100 m^3 betonanyag ellenőrzésére szolgált – ami a valóságot valószínűleg nem haladja meg, hiszen nem egy alkalommal nagyobb építkezésekről is csak egyetlen esetben érkezett vizsgálati megbízás –, akkor 1952. évben a beérkezett 1232 db. megbízás 123200 m^3 betonanyagot képviselt. E mennyiségnek 43 %-a volt lényegesen nagyobb szilárdságú, mint amekkora szilárdság a betonra elő volt írva, vagyis 53000 m^3 betonnál alkalmaztak a szükségesnél nagyobb cementadagolást.

A leggyakrabban előforduló B 140 betonminőséget a 89. sz. Miniszteri Utasítás előírásai szerint II. szemszerkezetű adalékanyag és plasztikus konzisztencia esetén 240 kg/m^3 500-as cement

adagolásával lehet elérni. Az előírt B 140-s beton helyett a fentiek szerint 43 %-ban előállított feleslegesen jobb minőségű betonanyag átlagszilárdsága 1952. évben 244 kg/cm^2 volt, ehhez a szilárdsághoz ugyancsak II. szemszerkezetű adalékanyag és plasztikus konzisztencia esetén kb. 380 kg/m^3 500-as cementadagolás szükséges. A feleslegesen jobb betonminőségnél jelentkező cementtöbblet a B 140 betonoknál tehát m^3-enként 140 kg, ami általánosítva a betonvizsgálataink által képviselt összes betonmennyiségre

$$53000 \times 140 = 74100 \text{ mázsa}$$

500-as cementet tesz ki. Megjegyezzük azonban, hogy az általánosítások folytán ennek cementmennyiségnek elsősorban nem a számértékét, hanem a nagyságrendjét tartjuk helyesnek.

A fenti számítás tehát arra az eredményre vezet, hogy helyes betonkészítés mellett csak az ÉTI Minősítő Laboratóriuma által vizsgált betonkészítmények esetén óvatos közelítéssel is csupán 1952. évben kb. 74000 mázsa 500-as cementtel egyenértékű cementmennyiség lett volna megtakarítható. Mivel az ÉTI Laboratóriuma az Építésügyi Minisztériumhoz tartozó építőipari vállalatok építkezéseinek is csak egy hányadát – becslésünk szerint 1/5 részét – ellenőrzi, így országos viszonylatban a feleslegesen felhasznált cementmennyiség többszázezer mázsára, ennek értéke sok millió forintra tehető.

4. A betonösszetétel és a szilárdság összehasonlítása

A fenti gondolatmenettel szemben azt lehetne felhozni ellenérvként, hogy a kockatestek még a régi vállalkozói szokás szerint más, jobb – nagyobb cementtartalmú, kedvezőbb víz/cement tényezőjű, erőteljesen tömörített – betonból készülnek, mint maga a beton- vagy vasbeton-szerkezet, és így a próbatestek szilárdsági eredményeit nem lehet általánosítani a szerkezet betonjára.

Ebben az esetben azonban a próbakockáknak nemcsak a megkívánt szilárdsághoz képest, hanem az előírt névleges betonösszetételhez képest is irreálisan nagyobb szilárdságot kellene adniuk. Ebből a szempontból érdekes a szilárdsági eredményeknek a közölt készítési adatokhoz (cementtartalom, adalékanyag, konzisztencia, kor stb.) viszonyított alacsony vagy magas volta.

Az 5. táblázat szerint 1952. évben a beérkezett betonkeverékeknek átlagosan 7,3 %-a – nem az előírt betonszilárdsághoz, hanem a megbízó által közölt betonösszetételhez képest – a szokásosnál alacsonyabb, 14,2 %-a magasabb szilárdsági eredményt adott; ezzel szemben 1953. I. félévben a beérkezett betonkeverékeknek 7,8 %-a adott szokatlanul alacsony, míg 24,6 %-a magas eredményt.

5. táblázat

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*
1952, 300, I, fn	B280	2,75	67,3	30,0	308-367
1953, 300, I, fn	B280	7,0	69,2	23,8	291,359
1952, 300, I, pl	B240	5,1	86,9	8,0	241-283
1953, 300, I, pl	B240	11,0	84,5	4,5	229-277
1952, 300, II, fn	B220	9,8	81,4	8,8	209-259
1953, 300, II, fn	B220	10,2	49,6	40,2	223-313
1952, 300, II, pl	B190	11,4	78,6	10,0	179-228
1953, 300, II, pl	B190	2,4	67,6	30,0	207-256
1952. évi átlag	átlag	7,3	78,5	14,2	
1953.I.fé. átlag		7,8	67,6	24,6	

Ezek a számok azt mutatják tehát, hogy a beton kockaszilárdsága az esetek 70-8 %-ában reális volt a beton közölt összetételéhez képest. Ezt egybevetve a 3. táblázat számadataival – amelyek szerint a vizsgált betonoknak csak egyharmad része felelt meg a költségvetési kiírásnak – talán le szabad vonni azt a következtetést, hogy a betonvizsgálatok eredményeinek magas volta nem a próbakockák átlagostól eltérő betonminőségének tulajdonítható, hanem inkább annak, hogy sok esetben az előírt betonösszetétel és a megkívánt kockaszilárdság nincs egymással összhangban. Úgy látszik tehát, hogy az előírt szilárdsághoz tartozó betonösszetételt nem előzetes betonvizsgálatok alapján, még csak nem is a 89. sz. Miniszteri Utasítás ajánlásainak megfelelően választják meg az építéshelyek, hanem – talán túlzott óvatosságból – betonvizsgálatainknak hozzávetőlegesen harmad részében a szükségesnél nagyobb cementadagolással dolgoztak.

Az 5. táblázat egyes oszlopai az alább részletezett számértékeket tartalmazzák:

1.oszlop: A keverési arányokat, valamint a vizsgálat idejét jelzi. Tehát pl. „1952, 300, I, fn" rövidítés jelentése: 1952 évi vizsgálatokból származó, 300 kg/m^3 500-as cementadagolású, I. szemszerkezetű adalékanyaggal és földnedves konzisztenciával készített betonkeverék.

2. oszlop: A 89. sz. Miniszteri Utasítás szerint a megbízólevélben közölt készítési körülményeknek (cementtartalom, adalékanyag szemszerkezet, konzisztencia stb.) megfelelő 28 napos kockaszilárdság, kg/cm^2.

3. oszlop: A 89. sz. Miniszteri Utasítás szerinti betonszilárdságnál a 3. táblázat értékei alapján a megengedettnél *alacsonyabb* nyomszilárdságú betonanyag előfordulásának százalékban kifejezett mennyisége.

4. oszlop: A 89. sz. Miniszteri Utasítás szerinti betonszilárdságnak a 3. táblázat értékei alapján *megfelelőnek* minősült betonanyag előfordulásának százalékban kifejezett mennyisége.

5. oszlop: A 89. sz. Miniszteri Utasítás szerinti betonszilárdságnál a 3. táblázat értékei alapján a megengedettnél *magasabb* nyomószilárdságúnak minősült betonanyag előfordulásának százalékban kifejezett mennyisége.

6. oszlop: Ama szilárdsági határértékek, amelyek közé az egyes vizsgálatok nyomószilárdsága – matematikai-statisztikai alapon számítva – 50 %-os valószínűséggel esik.

5. A betonvizsgálatok megbízhatósága

A 6. táblázatból kitűnik az, hogy a próbatestek készítésének és beküldésének módja mennyiben felelt meg, helyesebben mennyiben nem felelt meg a 89. sz. Miniszteri Utasításban foglaltaknak, továbbá, hogy a megbízó által közölt adatok mennyire voltak megbízhatóak. E táblázat szerint pl. a kiértékelhető és a megbízólevélben közölt adatoknak (betonösszetétel, utókezelés, tárolási hőfok stb.) ellent nem mondó betont

1952. évben 25,4 %-ban,

1953. I. félévben 44,2 %-ban

vizsgáltunk. Ezzel szemben akár a hiányos, vagy valótlan adatközlés, akár a helytelen betonkészítés miatt nem megfelelő, illetve kiértékelhetetlen betonvizsgálatot

1952. évben a megbízások 74,6 %-ában,

1953. I. félévben 44,2 %-ában

végeztünk. A legjelentősebb mennyiségben a hiányos adatközlés miatt kiértékelhetetlen vizsgálatok szerepelnek

1952. évben 24,1 %,

1953. I. félévben 21,6 %.

A 6. táblázat szerint 1953. évben tehát a vizsgálati eredmények kiértékelhetősége területén számottevő javulás mutatkozott. Ez jórészt annak tulajdonítható, hogy az észlelet szabálytalanságokra és rendellenességekre a vizsgálati bizonyítványainkban mindig nyomatékosan felhívtuk a megbízó figyelmét.

6. táblázat

	1952. év		1953. I. félév	
	db.	%	db.	%
Hiányos adatközlés miatt kiértékelhetetlen vizsgálati eredmény	297	24,1	238	21,6
Kevés számú (1, vagy 2 db.) próbatest érkezett vizsgálatra	221	17,9	103	9,3
A próbatestek szilárdsági eredményei között megengedhetetlen mértékű eltérés van, amelyet a cement egyenlőtlen elkeverése okozhatott	182	14,8	97	8,8
Egyéb okok miatt kiértékelhetetlen eredmények	220	17,8	178	16,1
Az adatközlés hiánytalan, a szilárdsági eredmények megfelelőek	312	25,4	489	44,2
Összesen	1232	100	1105	100

6. Javaslatok

A fenti rendellenességek kiküszöbölése, illetve csökkentése véleményünk szerint a következőképpen lehetséges:

a) A betonkészítés terén mutatkozó tervszerűtlenség megszüntetésének döntő feltétele az, hogy az építéshelyi anyagvizsgálók, az építési ellenőrök és az építésvezetők elméletileg és gyakorlatilag tisztában legyenek a műszaki és gazdasági szempontból egyaránt helyes betonozás részleteivel. Éppen ezért véleményünk szerint már az egyetemi oktatásban nagyobb teret kellene biztosítani a

céltudatos betonkészítés számára. Ettől függetlenül azonban rendszeresen kellene megfelelő tanfolyamokat szervezni az építésvezetők és az építési ellenőrök, továbbá az építéshelyi anyagvizsgálók képzésére és továbbképzésére. Ugyancsak fontosnak tartjuk az építéshelyi műszaki felsőbb és középkáderek ilyen tárgyú szakirodalommal való ellátását.

b) A betonkeverékek konzisztenciájának szabatosabb megállapítására (B 140 és ennél jobb megkívánt betonminőség esetén) szükségesnek tartjuk kötelezően előírni legalább is a roskadás és a terülés rendszeres mérését. A friss beton konzisztenciájának állandó ellenőrzése az építéshelyi laboratórium feladata.

c) Szükségesnek tartjuk annak előírását is, hogy B 140 és ennél jobb betonminőség esetén minden 200 m^3-t meghaladó mennyiségű betonmunkánál a betonmunkálatok megkezdése előtt próbakeveréssel kell megállapítani az építéshely rendelkezésére álló anyagoknak megfelelő leggazdaságosabb keverőarányt. Ha ez valamilyen oknál fogva nem lehetséges, vagy kisebb mennyiségről, illetve alacsonyabb szilárdságról van szó, akkor a 89. sz. Miniszteri Utasításnak a betonösszetételre vonatkozó előírásait feltétlenül be kell tartani.

d) Minden 100 m^3-t meghaladó mennyiségű betonmunkánál B 140 és ennél jobb betonminőség esetén a friss beton keverési arányát az építéshelyi laboratórium állandóan, folyamatosan ellenőrizze, és az esetlegesen szükséges változásokra tegyen számszerű javaslatot.

e) Mivel az a másfél év, amelyet kiértékelésünk felölel, azt a következtetést adja, hogy sem a helyszíni betonkészítés, sem az építéshelyi laboratóriumok munkája nagy általánosságban nem megfelelő, szükséges az építkezések és építéshelyi laboratóriumok ellenőrzésének rendszeresített bevezetése. Ezért egyes központi anyagvizsgáló laboratóriumok olyan eszközökkel (pl. mintavételi teherautó) látandók el, amelyek lehetővé teszik azt, hogy állandó helyszíni kiszállással és mintavétellel ellenőrizhessék a beton és más építőanyagok minőségét. E helyszíni kiszállás módot adhat az építéshelyi laboratóriumok fokozott és állandó ellenőrzésére is s ezzel kapcsolatban a továbbképzést is biztosíthatja.

7. Összefoglalás

Az 5 éves terv által az építőiparunk elé állított nagy feladatok gyakorlati megvalósítása csak akkor válhat lehetővé, ha a műszaki vezetés állandóan figyelemmel kíséri építkezéseinket a műszaki és gazdaságossági követelmények maradéktalan megvalósítása szempontjából.

Mivel az ÉTI Minősítő Laboratóriumba az utóbbi években oly nagy számban érkeztek betonvizsgálati megbízások, amelyek adatainak matematikai-statisztikai alapon történő rendszerezése lehetővé vált, tanulmányunkban az építéshelyi betonkészítés egyes – a kiértékelés során megmutatkozó – problémáira kívánunk rámutatni a műszaki és gazdaságossági szempontok megvilágításában.

Az 1952. évben, illetve 1953. I. félévben beküldött betonanyagok vizsgálati eredményeiből az a következtetés vonható le, hogy építkezéseink sok esetben tervszerűtlenül, szakértelem nélkül és gyakran cementpazarlással állítják elő betonkészítményeiket.

A próbatestek szabályszerű beküldése terén 1953. évben számottevő javulás mutatkozott. Ez jórészt annak tulajdonítható, hogy a szabálytalanságokra és rendellenességekre vizsgálati bizonyítványainkban mindig nyomatékosan felhívtuk a megbízó figyelmét.

Az észlelt hibák kiküszöbölésére, illetve csökkentésére a beszámolónk végén teszünk néhány javaslatot.

Az ÉTI Minősítő Laboratórium Mechanika Szakosztályán 1953. évben végzett cementvizsgálatok kiértékelése

POPOVICS SÁNDOR – UJHELYI JÁNOS

1. Bevezetés

Az Építéstudományi Intézet Minősítő Laboratóriumába 1953. évben 270 db cementvizsgálati megbízás érkezett. A cementvizsgálati megbízások száma – hasonlóan az egyéb építőanyagokkal kapcsolatos vizsgálati megbízásokhoz – 1952. évhez képest jelentős mértékben megnövekedett. A cementvizsgálatok számszerinti – mintegy 14 %-os – növekedése nem fejezi ki megfelelően a vizsgáló laboratórium munkájában jelentkező emelkedést, mert 1952. évben a szabvány csak földnedves cementhabarccsal végzett vizsgálatokat írt elő, ezzel szemben 1953. március 1.-től az előírások szerint földnedves és plasztikus cementhabarcsokkal, s ezen kívül több esetben betonkeverékkel is kellett a cement minősítésére szilárdságvizsgálatokat végezni.

Az alábbiakban a földnedves és a plasztikus cementhabarcsok szabványos vizsgálatának kiértékelt eredményeit egybevetettük egymással, továbbá az 1953. évben az építéshelyekről beérkezett minősítő betonvizsgálatok szilárdsági eredményeivel, és megvizsgáltuk a szabványos – földnedves és plasztikus – cementszilárdságok és a betonszilárdság összefüggését. Összehasonlítottuk továbbá az 1953. évi cementvizsgálatok eredményeit az 1952. évi cementvizsgálatok eredményeivel is annak eldöntése céljából, hogy 1953. évben változott-e hazai cementjeink minősége.

A továbbiakban az 1-1 cementfajta vizsgálati eredményeiben mutatkozó szórást kettéválasztottuk, kiszámítva a szabványos vizsgálati eljárások bizonytalansága által okozott szórást, illetve e cementfajta minőségingadozásából létrejövő szórást.

2. Földnedves cementhabarccsal végzett vizsgálatok eredményei

a) A földnedves habarcsból készített próbatestekkel a MNOSZ 523-53. 5. pontja szerint végeztük a cementvizsgálatokat. Vagyis a szilárdságvizsgálatok céljára készített kocka, ill. piskóta alakú próbatestek összetétele a következő: 1 súlyrész cement, 3 súlyrész szabványhomok és az ún. márványerezettség eléréséhez szükséges mennyiségű víz.

A próbatestek fenti összetétele az előző évhez képest annyiban változott, hogy 1952. évben a földnedves cementhabarcs próbatesteket minden esetben a száraz keverék súlyára vonatkoztatott 7,5 súly % vízzel készítettük, ezzel szemben 1953. március 1.-től kezdődően a márványerezés elérése céljából a készítési víz – a cementek különböző vízigényétől függően – 7,5-9,5 % között változott.

E vizsgálatok eredményei alapján cementfajtánként kiszámítottuk az átlagos az átlagos nyomó- és húzószilárdságokat 2, 7 és 28 napos korban, a vizsgálatok során kapott legkisebb és legnagyobb értékeket, a szórásokat (négyzetes középeltérés) és a szórásoknak az átlagos szilárdsági értékekhez viszonyított százalékát (változási együttható). Ilyen módon a négy homogén és öt heterogén, összesen tehát kilenc hazai cementfajta vizsgálati eredményeit értékeltük ki. Az eredményeket a I. táblázatban közöljük. A részletes számításokat az 1. sz. Függelék tartalmazza.

Feltűnő a hejőcsabai 300-as kohósalak portlandcement nyomó- és húzószilárdságában egyaránt mutatkozó nagy szórás.

b) Ha a nyomószilárdság alapján a különböző minőségi osztályú cementek között jósági sorrendet kívánunk felállítani, akkor ezt fel lehetne írni egyszerűen a szilárdságok számértékeinek a csökkenő sorozatával is. A kiértékelhetőség teljessége szempontjából azonban célszerűbb relatív értékekkel számolni. Ezért bevezettünk egy viszonylagos értéket, amit a továbbiakban *„minőségi szám”*-nak nevezünk, az alábbiak szerint:

$$M = 100 \times (\sigma_t - \sigma_e) : \sigma_e$$

ahol M = minőségi szám,

σ_t = az adott cementfajtával készült szabványos habarcs 28 napos átlagos nyomószilárdsága,

σ_e = a σ_t átlagérték szabvány által előírt minimuma.

I. táblázat: Az 1953. évi földnedves cementhabarcs vizsgálatok nyomó- és húzószilárdsága

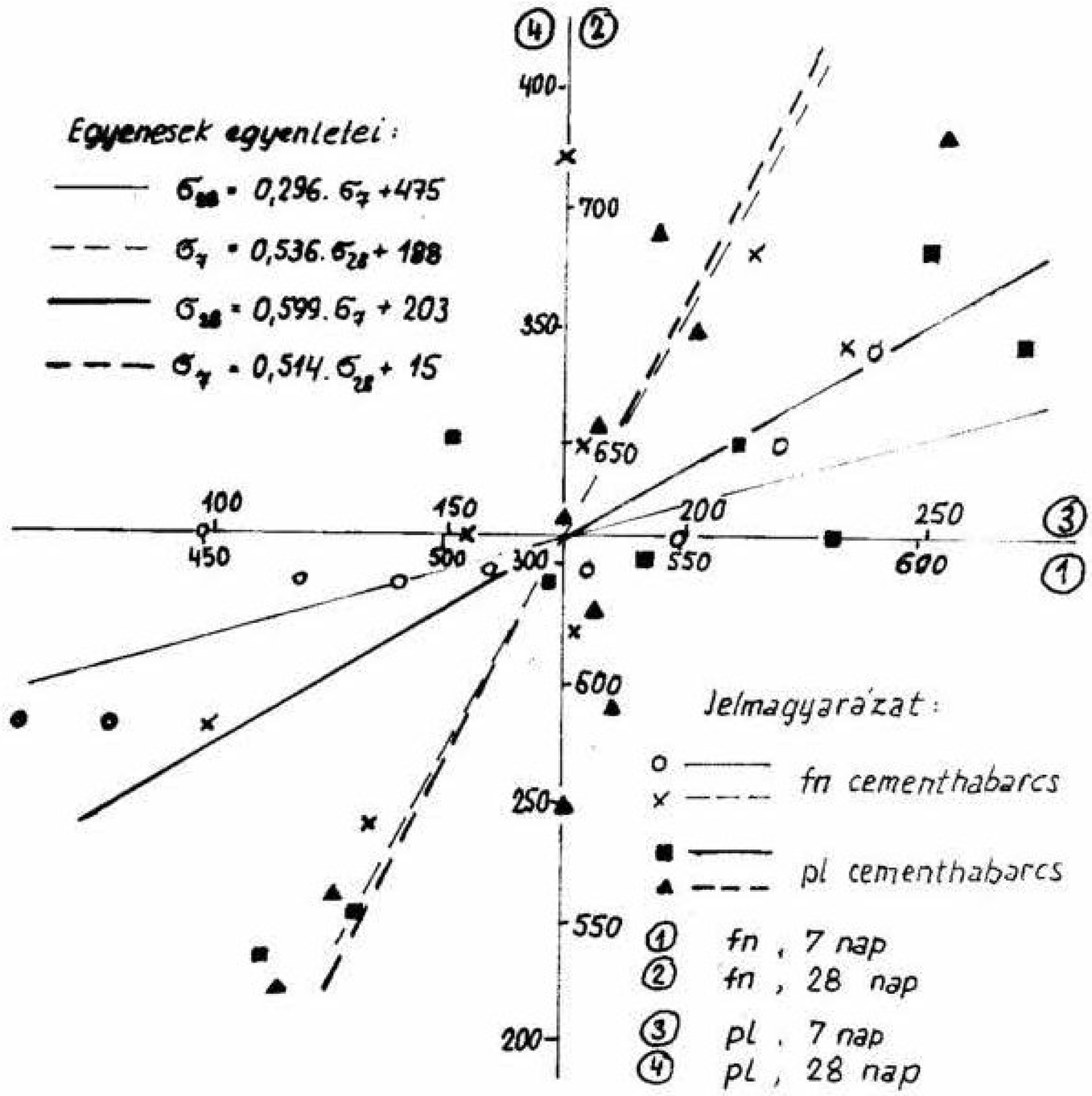
I. tatai 600-as portlandcement
II. beremendi 500-as portlandcement
III. lábatlani S-54 jelű 500-as portlandcement
IV. lábatlani 500-as portlandcement
V. tatai 500-as traszportlandcement
VI. bélapátfalvi 500-as kohósalak portlandcement
VII. lábatlani 400-as traszportlandcement
VIII. selypi 400-as traszportlandcement
IX. hejőcsabai 300-as kohósalak portlandcement

Cement fajta	*Vizsgálatok száma*	*Kor nap*	*Nyomószilárdság*					*Húzószilárdság*				
			átlag	*min.*	*max.*	*szórás*		*átlag*	*min.*	*max.*	*szórás*	
			kg/cm²				*%*	*kg/cm²*				*%*
I	24	2	337,5	119	452	85,0	25,2	27,1	9,3	35,1	6,34	25,2
	28	7	525,0	419	601	43,9	8,4	37,7	30,4	44,2	3,09	8,2
	28	28	630,2	565	707	32,6	5,2	41,9	36,0	48,1	2,84	6,8
II	8	2	268,6	203	381	67,1	25,1	22,2	15,1	31,3	4,6	20,7
	9	7	442,9	372	515	54,1	12,2	32,9	27,7	37,9	3,6	10,9
	8	28	543,5	440	607	57,8	10,8	38,8	31,4	43,3	4,48	11,5
III	4	2	200,3	159	272	49,4	23,6	19,0	14,6	24,9	4,71	25,8
	8	7	369,4	265	468	57,4	16,0	30,2	26,1	36,9	3,44	1,4
	8	28	540,4	500	575	26,9	5,0	40,7	35,6	44,9	3,13	7,7
IV	10	2	225,8	182	368	61,5	27,2	22,6	16,0	29,8	4,93	21,8
	18	7	440,1	390	558	54,9	12,4	32,4	27,3	37,0	3,12	9,6
	18	28	566,1	459	703	50,6	8,9	40,7	30,9	46,4	4,43	10,9
V	53	7	431,7	295	526	43,0	10,0	31,9	18,0	39,1	4,68	14,6
	54	28	559,9	475	638	36,2	6,5	41,4	31,5	46,3	3,21	7,8
VI	47	7	396,1	194	548	73,2	18,5	30,2	12,6	38,4	4,99	16,5
	45	28	572,1	474	705	47,5	8,7	40,7	32,2	48,7	4,25	10,4
VII	6	7	360,8	328	414	33,0	9,2	28,6	23,1	33,4	3,49	12,2
	6	28	508,2	494	607	58,9	11,6	40,9	33,8	44,8	4,06	9,9
VIII	12	7	344,6	228	433	69,9	20,2	23,7	14,1	34,0	5,21	22
	13	28	537,7	448	682	73,9	13,7	39,3	32,1	50,4	5,5	14
IX	11	7	171,1	91	361	77,0	96,6	15,8	8,0	30,8	8	50,6
	11	28	313,1	177	563	118,0	37,7	29,7	19,9	39,1	6,5	21,8

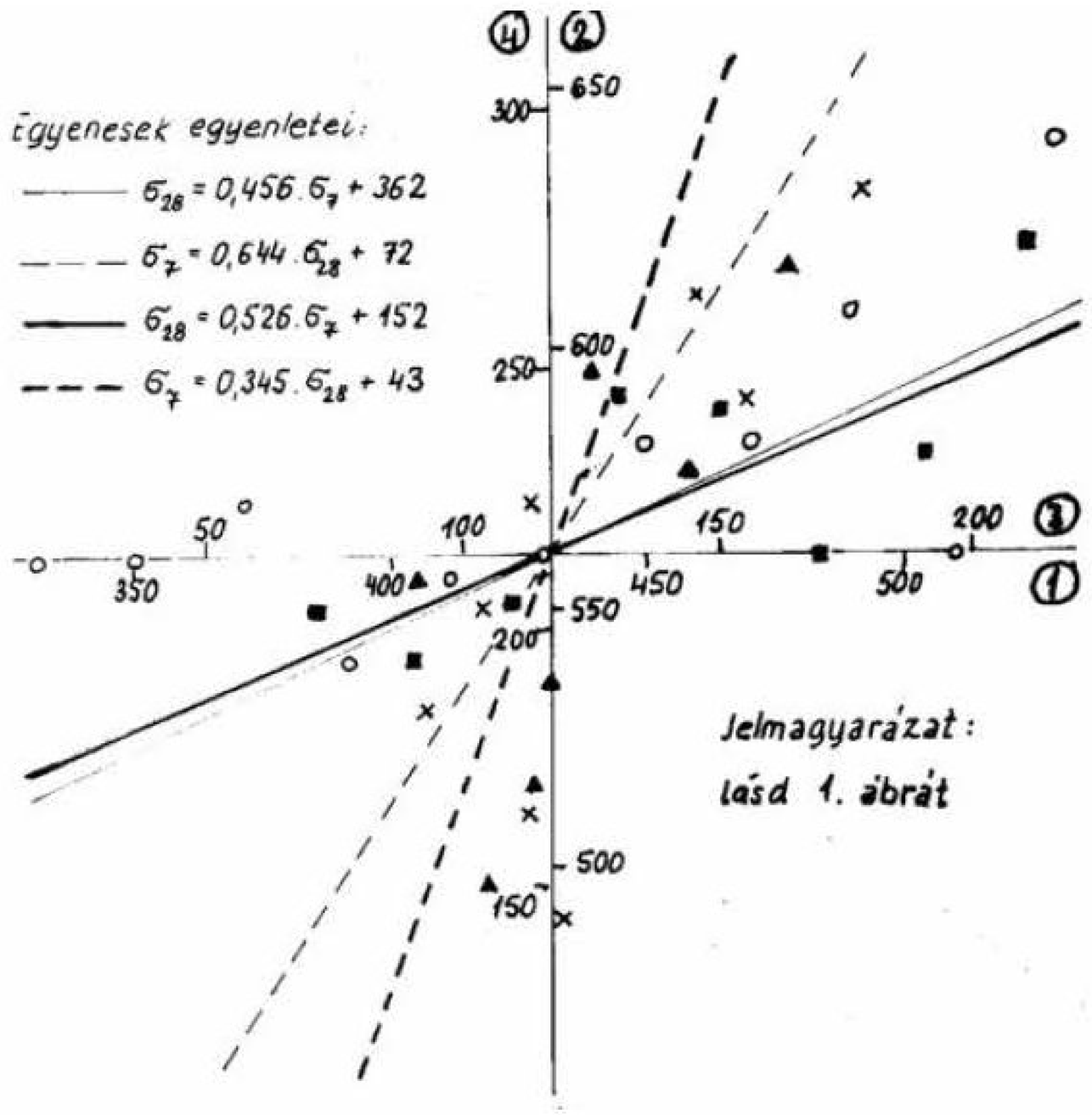
A 600-as cementnek pl. legalább 600 kg/cm², a 400-as cementnek legalább 400 kg/cm² 28 napos átlagos nyomószilárdságot kellene adnia. Ezzel szemben a tatai 600-as cement 630 kg/cm² átlagszilárdsága 5 %-kal, a selypi 400-as cement 518 kg/cm² átlagszilárdsága 34 %-kal nagyobb az előírt minimumnál. Az első esetben $M = +5$, a második esetben $M = +34$.

A minőségi szám alapján a cementfajták viszonylagos jósági sorrendje elkészíthető. E sorrendet a földnedves cementhabarccsal végzett 28 napos szilárdsági vizsgálatok alapján a II. táblázat tartalmazza. A földnedves cementhabarcs vizsgálat 28 napos eredményei szerint tehát a heterogén (trasz- és kohósalak-) portlandcementek relatív nyomószilárdsága – a hejőcsabai 300-as kohósalak portlandcement kivételével – lényegesen jobb, mint a homogén portlandcementeké. A II. táblázat szerint ugyanis a jósági sorrendben az első öt hely közül négyet a heterogén cementek foglalnak el.

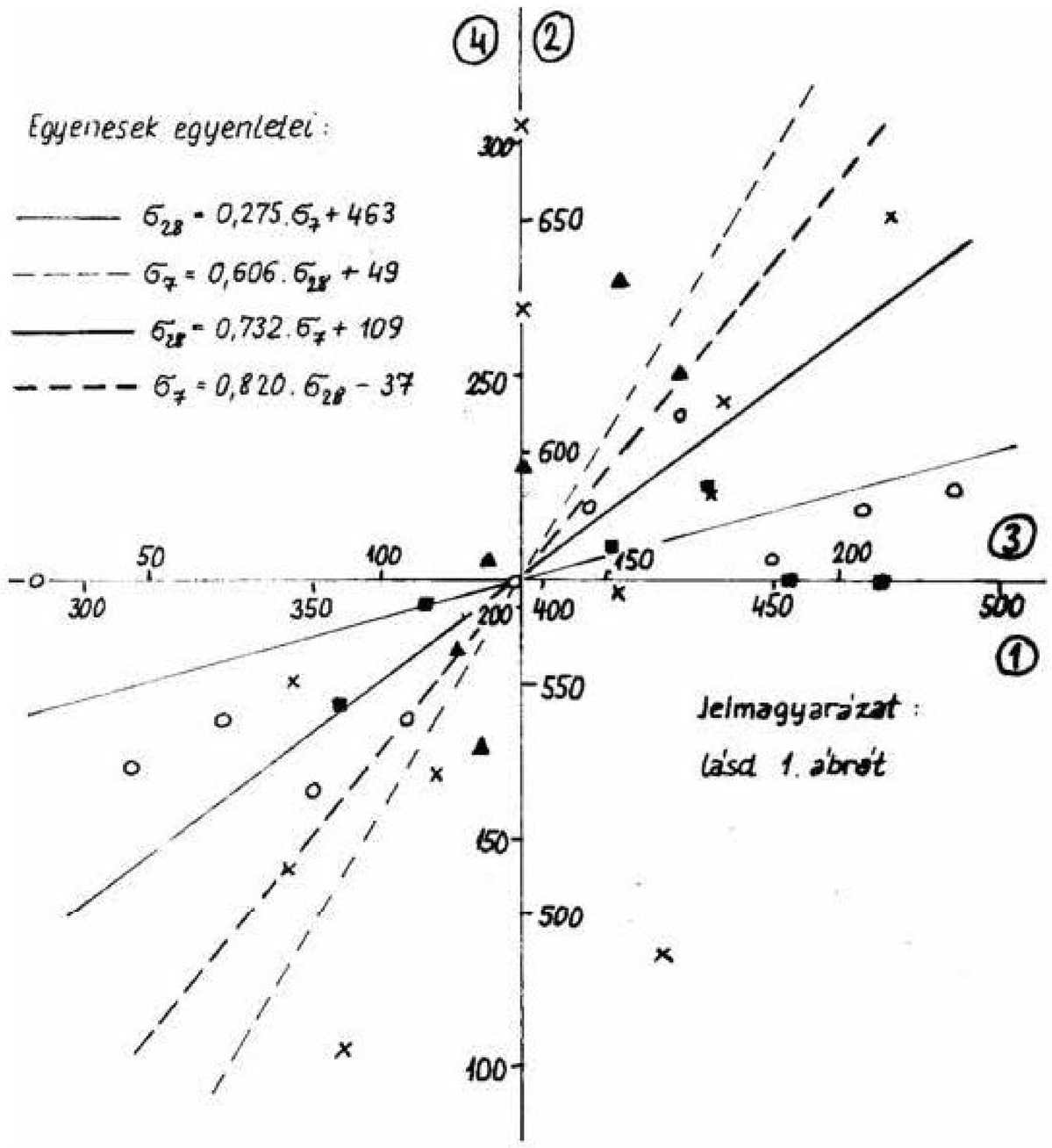
c) Megvizsgáltuk az 1953 évi tatai 50-as és 600-as, a bélapátfalvi 500-as cementek, valamint a vizsgálat alá vett összes 500-as cementek 7 és 28 napos nyomószilárdságai közötti korrelatív összefüggést is a földnedves cementhabarcs-vizsgálatok alapján. Az elsőfokú vonatkozás mérték (a korrelációs együttható) számértékeit a XII. táblázatban foglaltuk össze. A regressziós egyeneseket az 1.-4. ábrákon vékony vonallal tüntettük fel, mégpedig az ismert 7 napos nyomószilárdságokhoz tartozó várható 28 napos nyomószilárdságok egyenesét folytonos vonallal, az ismert 28 napos nyomószilárdságokhoz tartozó várható 7 napos szilárdságok egyenesét szaggatott vonallal. A részletszámításokat a 2.sz. függelék tartalmazza. Az alkalmazott jelölések *Szentmártoni: Matematikai statisztika a műszaki gyakorlatban. Bp. 1950.* c. könyvében használt jelölésekkel egyeznek meg.



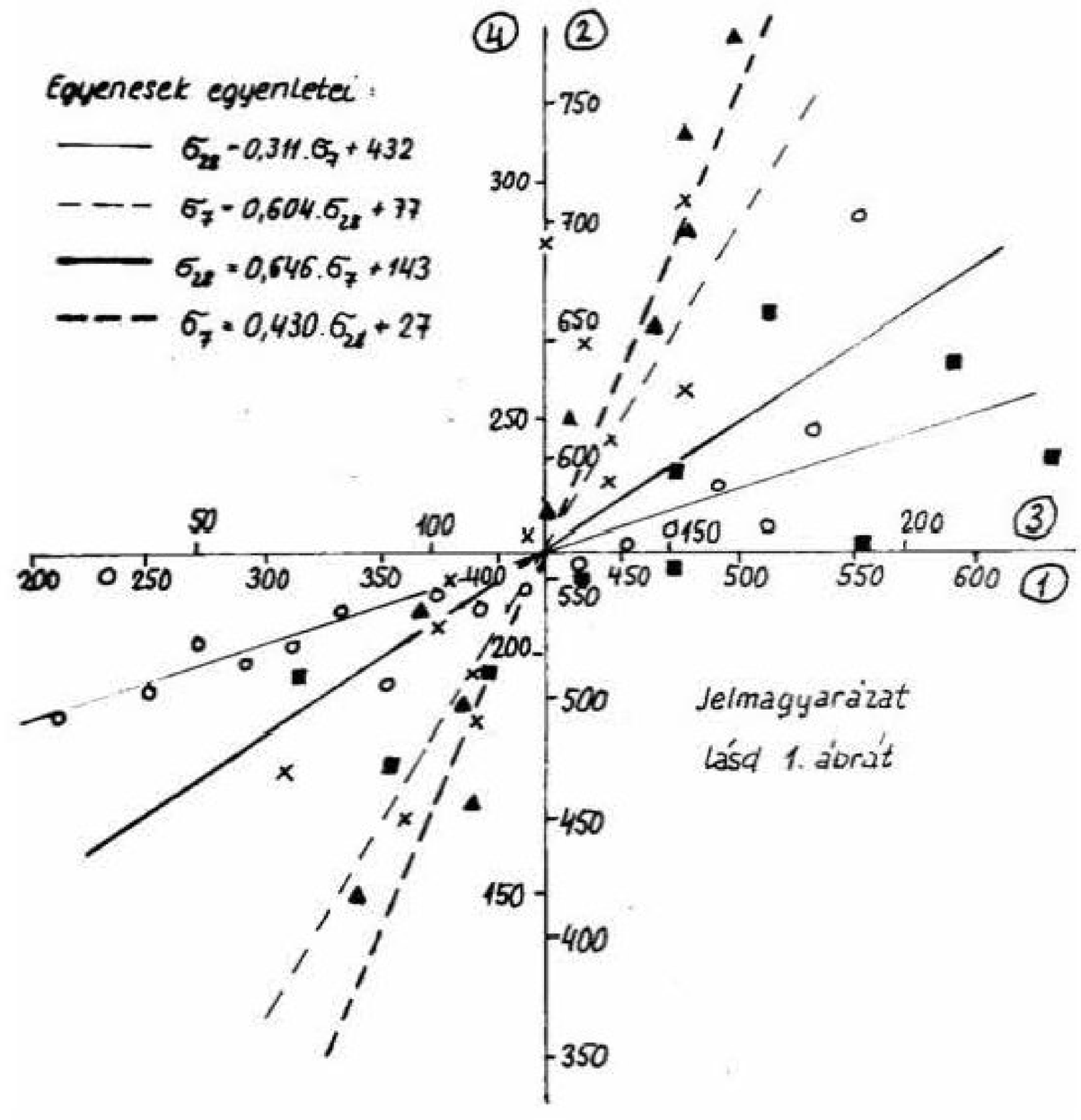
1. ábra: A tatai 600-as portlandcement 7 és 28 napos nyomószilárdságainak regressziós egyenesei a földnedves és a változó mennyiségű vízzel készült plasztikus cementhabarcsok vizsgálatai alapján



2. ábra: A tatai 500-as portlandcement 7 és 28 napos nyomószilárdságának regressziós egyenesei a földnedves és a változó mennyiségű vízzel készült plasztikus cementhabarcsok vizsgálatai alapján



3. ábra: A bélapátfalvi 500-as kohósalak portlandcement 7 és 28 napos nyomószilárdságának regressziós egyenesei a földnedves és a változó mennyiségű vízzel készült plasztikus cementhabarcsok vizsgálatai alapján



4. ábra: Az 1953 évben vizsgált 500-as cementek 7 és 28 napos nyomószilárdságainak regressziós egyenesei a földnedves és a változó mennyiségű vízzel készült plasztikus cementhabarcs vizsgálatok alapján

d) A vizsgálat alá vett cementfajták közül azoknál, amelyeknél kellő számú adat állt rendelkezésünkre, kiszámítottuk a 28 napos nyomszilárdságok gyakorisági eloszlásait is. A számításokat a 4. sz. függelék tartalmazza. A számítások eredményeit a 6.-11.ábrákon vastag vonallal tüntettük fel. Az ábrákból leolvasható, hogy a tatai 600-as és a beremendi 500-as portlandcementeknél 15-20 %, a lábatlani S-54 jelű 500-as portlandcementnél, a tatai 500-as és a selypi 400-as traszportlandcementnél, valamint a bélapátfalvi 500-as kohósalak portlandcementnél 3-6 % a valószínűsége a szabvány által előírt minimális 28 napos nyomószilárdságnál kisebb szilárdságú cement előfordulásának.

II. táblázat: A cementfajták minőségi sorrendje az 1953 évi földnedves cementhabarcs vizsgálatok alapján

Sorrend	*Cementfajta megnevezése*	*Minőségi szám*	*28 napos nyomószilárdság* *	
			előírt	*tényleges* **
1.	Selypi 400-as traszportlandcement	34,4	400	537,7
2.	Lábatlani 400-as traszportlandcement	27,6	400	508,2
3.	Bélapátfalvi 500-as kohósalak portlandcement	14,4	500	572,1
4.	Lábatlani 500-as portlandcement	13,2	500	566,1
5.	Tatai 500-as traszportlandcement	12,5	500	559,7
6.	Beremendi 500-as portlandcement	8,7	500	543,5
7.	Lábatlani S-54 jelű 500-as portlandcement	8,1	500	540,4
8.	Tatai 600-as portlandcement	5,0	600	630,3
9.	Hejőcsabai 300-as kohósalak portlandcement	4,4	300	315,1

* kg/cm^2 ** átlagérték

3. Plasztikus cementhabarccsal végzett vizsgálatok eredményei

a) Az MNOSZ 523-53 a laboratóriumok számára előírja a cementek – egyébként jelenleg még csak ajánlott – szilárdságvizsgálatát plasztikus habarcsból készült próbatestekkel is. Ezeket a vizsgálatokat a szabvány 6.4. pontja szerint végeztük azzal a különbséggel, hogy a kellő felszerelés hiánya folytán a próbatestek készítéséhez a szabványostól eltérő formákat alkalmaztunk. Ez a körülmény a vizsgálati eredményeink számértékét természetesen befolyásolta, de valamennyit gyakorlatilag azonos mértékben, úgyhogy az eredmények egymáshoz képest megbízhatóknak tekinthetők. Amint összehasonlító kísérletsorozattal megállapítottuk, az általunk használt formákban készített plasztikus habarcstestek nyomószilárdsága mintegy 20 %-kal, hajlítószilárdsága mintegy 10 %-kal kisebb, mint a szabványos formákban készített ugyanolyan cementhabarcsé.

A szabvány szerint a próbatestek összetétele a következő:

1 súlyrész cement
1 súlyrész finomhomok
2 súlyrész szabványhomok és
0,6 súlyrész víz

A szabvány előírja azt is, hogy ha a 0,6 súlyrész – egy keveréshez tehát 270 g – vízzel készített cementhabarcs terülése a szabványos rázóasztalon mérve 160-200 mm határokon kívül esik, a keverést olyan értelemszerűen megváltoztatott vízmennyiséggel kell megismételni, amellyel a terülés 170-190 mm között van. A III. táblázatban közöljük mind a 270 g vízzel készített (0,6 víz/cement tényezőjű), mind a 170-190 mm terülésű (változó víz/cement tényezőjű) cementhabarcsokon mért nyomó- és húzószilárdsági eredményeket. A részletes számításokat az 1. függelék tartalmazza.

A hejőcsabai cement egyenlőtlen minősége a plasztikus vizsgálati eredmények szórásában is kifejezésre jut.

b) A III. táblázatból, valamint az MNOSZ 4702-53.Á. F.9. pont irányszámainak alsó határértékeiből az előző ponthoz hasonlóan kiszámítottuk az egyes cementek minőségi számait, és ennek alapján állítottuk össze a IV. és V: táblázatokat, amelyek a kétféle plasztikus cementhabarcs vizsgálata alapján mutatják a hazai cementfajták minőségi sorrendjét.

Vessük össze a IV. és az V. táblázatokat a II. táblázattal. Már a 0,6 víz/cement tényezőjű cement-habarcsok 28 napos nyomószilárdsági eredményei alapján megállapított minőségi sorrendben is

lényeges eltolódás mutatkozik a II. táblázat sorrendjéhez képest, mégpedig a homogén cementek javára

III. táblázat: Az 1953 évi plasztikus cementhabarcs vizsgálatok nyomó- és hajlító-húzószilárdsági eredményei

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*	*14*
Cementhabarcs vizsgálata 270 g készítési vízmennyiséggel													
Tatai 600-as portland-cement	17 22 23	2 7 28	17,1	85,9 188,6 325,6	24 165 246	134 281 397	35,4 44,3 37,3	41,1 23,5 11,4	26,1 49,8 71,7	8,1 32,6 58,1	42,7 69,0 82,5	10,7 8,7 6,4	41,1 17,5 8,9
Beremendi 500-as portlandcement	4 4 4	2 7 28	17,4	101,3 159,0 301,3	86 151 292	117 169 312	* * *	* * *	29,4 45,7 64,9	26,1 39,1 51,2	31,4 51,4 71,0	* * *	* * *
Lábatlani S-54 jelű 500-as portlandcement		2 7 28	18,3	79,0 148,0 307,3					26,0 39,3 64,0				
Lábatlani 500-as Portlandcement	3 3 3	2 7 28	18,3	77,3 151,3 257,0	71 139 171	83 171 335	* * *	* * *	23,2 43,2 66,9	20,0 41,0 62,4	25,1 45,4 73,1	* * *	* * *
Tatai 500-as trasz-portlandcement	31 31	7 28	15,3	134,1 230,4	67 166	259 293	40,9 34,8	30,4 15,1	36,3 58,7	20,1 45,3	57,0 70,3	8.0 5,9	10,7 11,8
Bélapátfalvi 500 kohósalak portlandcement	13 13	7 28	17,9	131,7 205,0	85 170	242 263	38,6 27,2	29,3 13,3	36,6 56,3	24,9 42,3	61,1 71,8	9,7 8,6	26,5 15,3
Lábatlani 400-as trasz-portlandcement	5 5	7 28	14,6	86,2 144,8	76 123	102 201	* *	* *	25,6 51,1	23,4 42,4	30,4 58,3	* *	* *
Selypi 400-as trasz-portlandcement	6 6	7 28	1,7	94,7 184,2	68 165	141 210	27,3 20,0	28,9 10,8	27,4 53,2	23,3 45,7	32,0 63,6	3,5 6,5	12,9 12,1
Hejőcsabai 300 kohósalak portlandcement	4 5	7 28	15,1	52,5 128,0	24 92	95 195	30,1 43,6	57,4 34,1	21,1 41,0	14,3 32,1	30,7 55,4	7,3 5,7	34,7 21,2
Cementhabarcs vizsgálat változó mennyiségű – a terülés alapján meghatározott – készítési vízzel													
Tatai 600-as portland-cement	17 21 22	2 7 28	18,6	79,7 173,2 307,4	15 105 210	132 291 397	36,2 47,6 53,5	45,4 27,5 17,4	24,7 46,3 69,0	8,3 30,8 55,3	41,9 69,0 82,5	10,7 10,1 6,3	43,5 21,8 9,1
Beremendi 500-as portlandcement	270 g vízzel készítve a cementhabarcs terülése a szabvány által előírt határokon belül maradt												
Lábatlani S-54 jelű 500-as portlandcement													
Lábatlani 500-as Portlandcement													
Tatai 500-as trasz-portlandement	31 31	7 28	17,7	117,1 214,1	59 150	213 277	31,6 39,1	27,0 18,2	33,5 56,6	18,3 45,3	47,2 67,7	6,4 5,9	19,0 10,3
Bélapátfalvi 500 kohósalak portlandcement	270 g vízzel készítve a cementhabarcs terülése a szabvány által előírt határokon belül maradt												
Lábatlani 400-as trasz-portlandcement	5 5	7 28	17,3	69,8 136,0	62 125	77 155	6,8 11,5	9,7 8,5	26,3 47,2	20,1 40,8	40,8 58,3	8,4 7,0	31,9 14,7
Selypi 400-as trasz-portlandcement	7 6	7 28	18,1	68,1 148,5	41 120	94 176	20,0 19,3	29,4 13,0	21,8 43,7	18,3 54,4	27,4 59,3	3,6 9,4	16,3 21,6
Hejőcsabai 300 kohósalak portlandcement	3 4	7 28	17,9	41,0 94,9	19 63	69 129	25,5 8,9	62,0 9,4	23,4 55,1	18,0 22,2	28,5 49,5	5,3 11,3	22,5 32,4

* a vizsgálat csekély száma miatt az eredmény nem mértékadó

Jelmagyarázat: ***1*** Cementfajta ***2*** A vizsgálatok száma ***3*** Kor, nap ***4*** Átlagos terülés, cm ***5*** Átlagos nyomószilárdság, kg/cm^2 ***6*** Legkisebb nyomószilárdság, kg/cm^2 ***7*** Legnagyobb nyomószilárdság, kg/cm^2 ***8*** Nyomószilárdság szórása, kg/cm^2 ***9*** Nyomószilárdság szórása, % ***10*** Átlagos hajlítószilárdság, kg/cm^2 ***11*** Legkisebb hajlítószilárdság, kg/cm^2 ***12*** Legnagyobb hajlítószilárdság, kg/cm^2 ***13*** Hajlítószilárdság szórása, kg/cm^2 ***14*** Hajlítószilárdság szórása, %

IV. táblázat: A cementfajták minőségi sorrendje a 270 g vízzel készített plasztikus cementhabarcs vizsgálatok alapján

Sor-rend	*Cementfajta*	*Minőségi szám*	*28 napos nyomszilárdság, kg/cm²*	
			előírt	*tényleges átlag*
1.	Lábatlani S-54 jelű 500-as portlandcement	+9,7	280	307,3
2.	Beremendi 500-as portlandcement	+7,6	280	301,3
3.	Selypi 400-as traszportlandcement	-7,9	200	184,2
4.	Lábatlani 50-as portlandcement	-8,2	280	257,0
5.	Hejőcsabai 300-s kohósalak portlandcement	-8,6	140	128,0
6.	Tatai 600-as portlandcement	-14,3	380	325,6
7.	Tatai 500-as traszportlandcement	-17,7	280	230,4
8.	Bélapátfalvi 500-as kohósalakportlandcement	-26,8	280	205,0
9.	Lábatlani 400-as traszportlandcement	-27,6	200	144,8

V. táblázat: A cementfajták minőségi sorrendje az 1953. évi változó mennyiségű – terülés alapján meghatározott – vízzel készített plasztikus cementhabarcs vizsgálatok alapján

Sor-rend	*Cementfajta*	*Minőségi szám*	*28 napos nyomszilárdság, kg/cm²*	
			előírt	*tényleges átlag*
1.	Lábatlani S-54 jelű 500-as portlandcement	+9,7	280	307,3
2.	Beremendi 500-as portlandcement	+7,6	280	301,3
3.	Lábatlani 500-as portlandcement	-8,2	280	257,0
4.	Tatai 600-as portlandcement	-19,1	380	307,4
5.	Tatai 500-as traszportlandcement	-23,5	280	214,1
6.	Selypi 400-as traszportlandcement	-25,8	200	148,5
7.	Bélapátfalvi 500-as kohósalakportlandcement	-26,8	280	205,0
8.	Lábatlani 400-as traszportlandcement	-32,0	200	148,5
9.	Hejőcsabai 300-as kohósalakportlandcement	-32,5	140	94,5

Még nagyobb az eltérés a 17,0-19,0 cm terülésű cementhabarcsok vizsgálata szerint összeállított minőségi sorrendben, mert az V. táblázatban a homogén portlandcementek a sorrend elejét foglalják el.

A kérdés most már az, hogy az előzőkben felállított háromféle, egymástól elég lényegesen eltérő minőségi sorrend közül melyik a jó. Melyik vizsgálati módszer a legmegfelelőbb? Nyilván az, amelyik a cementeknek a betonban várható viselkedését jellemzi a leghívebben. A 4. és az 5. pontban ezért a betonvizsgálati eredményeinket értékeljük ki a különböző cementek minősége szempontjából.

c) Ugyancsak vizsgáltuk az 1953. évi tatai 600-as és 500-as, a bélapátfalvi 500-as cementeknek, valamint a vizsgálat alá vett összes 500-as cementeknek a változó mennyiségű vízzel készült plasztikus cementhabarcsokon meghatározott 7 és 28 napos nyomószilárdságai közötti korrelatív összefüggést. A részletszámításokat a 2. függelék, az eredményeket a XII. táblázat, illetve az 1.-4. ábra foglalja össze. Az ábrákon a plasztikus cementhabarcsvizsgálatok 7 és 28 napos nyomószilárdságai közötti összefüggést vastag vonallal tüntettük fel, mégpedig az ismert 7 napos nyomószilárdságokhoz tartozó várható 28 napos szilárdságok egyenesét folytonos vonallal, az ismert 28 napos nyomószilárdságokhoz tartozó várható 7 napos nyomszilárdságok egyenesét szaggatott vonallal.

4. Cementvizsgálatok betonkeverékkel

A cement vizsgálata betonkeverékkel ugyancsak az MNOSZ 47202-53. Á szerint ajánlott vizsgálati módszer. A vizsgálat végrehajtását az MNOSZ 523-53 6.6. pontja írja elő. E szerint a betonkészítéshez felhasznált adalékanyag a szabványban részletezett szemszerkezetű, 5-5,2 finomsági modulusú dunai homokos kavics, a betonkeverék konzisztenciája az MNOSZ 934 által előírt rázóasztalon mért 35-40 cm terülésű (0,55-0,6 víz/cement tényezőjű), cementtartalma pedig kb. 270 kg/m^3 (1000 kg adalékanyaghoz 135 kg cement) legyen. A próbatesteket az MSZ 934 szabvány szerint kell tárolni és utókezelni. A nyomószilárdságot 28 napos korban kell vizsgálni.

Laboratóriumunk e vizsgálati módszert is alkalmazta, ha a megbízó megfelelő mennyiségű (50 kg) cementet küldött be vizsgálatra. E vizsgálatok átlagos nyomószilárdsági eredményeit a VI. táblázat tartalmazza. Az eredményeket statisztikailag nem értékeltük, mert számuk nem volt elegendő.

VI. táblázat: Az 1953. évi, betonkeverékkel történő cementvizsgálatok nyomószilárdsági eredményei

Cementfajta	*Vizsg. száma*	*Nyomószilárdság, kg/cm²*		
		átla	*min.*	*max.*
Tatai 600-as portlandcement	5	264	223	285
Tatai 500-as traszportlandcement	7	169	140	184
Hejőcsabai 300-as kohósalakportlandcement	4	75	52	97

A VI. táblázat adataiból, valamint az MNOSZ 4702-53 Á F.10. pontjában megadott irányszámoknak alsó határértékeiből ismét kiszámítottuk az egyes cementek minőségi számát, és ennek alapján állítottuk össze a VII. táblázatot, amely a vizsgált cementfajták minőségi sorrendjét tartalmazza.

VII. táblázat: A cementfajták minőségi sorrendje az 1953. évi, betonkeverékkel történő cementvizsgálatok alapján

Sor-Rend	*Cementfajta*	*Min. szám*	*Nyomószilárdság, kg/cm²*	
			előírt	*min.*
1.	Tatai 600-as portlandcement	-2,2	270	264
2.	Tatai 500-as traszportlandcement	-23,2	220	169
3.	Hejőcsabai 300-as kohósalakportlandcement	-37,5	120	75

A VII. táblázat szerint a szabványos betonvizsgálati eredmények a plasztikus cementvizsgálati módszerek nyomószilárdsági eredményeivel állnak összhangban.

5. Minősítő betonvizsgálatok szilárdsági eredményeinek kiértékelése a cementminőség szempontjából

Az építéshelyekről beküldött betonkockák minősítő vizsgálatai alapján a különböző cementfajták felhasználásával 1953. évben készített betonanyagok átlagos nyomószilárdságát is kiszámítottuk. A számítást részletesen a 3. függelék, a számítás eredményeit a VIII. táblázat tartalmazza.

VIII. táblázat: Az 1953. évi minősítő betonkocka vizsgálatok eredményei

a	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*	*g*	*h*	*i*	*j*	*k*
1.	Tatai 600-as portland-	8	300	I.	plasztikus	2391	339	48,1	12,5	300
2.	cement	10	400	I.	plasztikus	2499	446	35,1	7,9	400
3.	Beremendi 500-as port-	2	300	I.	földnedves	2420	366	*	*	280
4.	landcement	2	300	II.	plasztikus	2380	199	*	*	180
5.		2	300	II.	földnedves	2355	252	*	*	220
6.	Lábatlani S-54 jelű	4	300	I.	földnedves	2405	342	*	*	280
7.	500-as portlandcement	4	300	I.	plasztikus	2338	337	*	*	240
8.		2	350	I.	földnedves	2390	367	*	*	320
9.	Lábatlani 500-as	2	240	II.	plasztikus	2330	175	*	*	140
10.	portlandcement	4	300	II.	plasztikus	2353	228	*	*	180
11.	Tatai 500-as	9	300	I.	földnedves	2436	309	40,1	13,0	280
12.	traszportlandcement	8	300	II.	földnedves	2371	239	35,1	14,7	220
13.	Bélapátfalvi 500-as	12	300	I.	plasztikus	2396	264	48,3	18,3	240
14.	kohósalakportlandcement	6	240	II.	plasztikus	2298	155	52,5	34,0	140
15.	Lábatlani 400-as	6	70	II.	plasztikus	2318	139	20,3	14,6	140
16.	traszportlandcement	4	270	II.	plasztikus	2338	130	*	*	120
17.	Selypi 400-as	5	270	II.	földnedves	2334	128	*	*	140
18.	traszportlandcement	2	300	II.	plasztikus	2340	144	*	*	130
19.	Hejőcsabai 300-as	2	150	II.	földnedves	2235	44	*	*	50
20.	kohósalakportlandcement	4	250	II.	földnedves	2333	102	*	*	100

Jelmagyarázat:

a) sorszám b) cementfajta c) vizsgálatok száma, db d) cementtartalom, kg/m³ e) adalékanyag minőség f) konzisztencia g) átlagos térfogatsúly, kg/m³ h) átlagos nyomószilárdság, kg/cm²
i) szórás, cm² j) szórás, % k) a 89. sz. Miniszteri Utasítás szerinti szilárdság, kg/cm²
*: kevés adat miatt az eredmények nem mérvadók

A megbízólevelek közlését alapul véve a számításba bevont betonanyagokat

- rendszeres locsolással utókezelték, és
- a tárolási hőmérséklet +15 °C fölött volt.

A nyomószilárdságot a megbízók által közölt készítési időponttól számított 28 napos korban vizsgáltuk.

A VIII. táblázat a cementfajtán és az átlagos nyomószilárdságon kívül tartalmazza a vizsgálatok számát, a szórást (négyzetes középeltérés), a szórásnak az átlagos szilárdság százalékában kifejezett értékét (változási együttható), az átlagos térfogatsúlyt, a betonkeverék névleges cementtartalmát, konzisztenciáját, az adalékanyag minőségét, valamint a „Betonok és habarcsok" című 89. sz. Miniszteri Utasítás B.I. pont 4. táblázata alapulvételével számított megkívánt nyomószilárdságot.

A legnagyobb nyomószilárdságot – azonos körülmények esetén – a tatai 600-as portlandcementtel lehet elérni. A relatív jóságot, vagyis a minőségi sorrendet a IX. táblázatban tüntettük fel. Ennek megállapításakor ismét a „Minőségi számot" – vagyis a 89. sz. Miniszteri Utasítás által előírt 28 napos betonszilárdság és a vizsgálatok során kapott átlagos nyomószilárdság különbségének az előírt szilárdság százalékában kifejezett értékét – választottuk alapul. Megjegyezzük, hogy az egyes cementfajtáknak az ebben a táblázatban szereplő minőségi száma a VIII. táblázatban lévő betonkeverékek minőségi számainak súlyozott középértékét jelenti.

IX. táblázat: A cementfajták minőségi sorrendje az 1953. évi minősítő betonkocka-vizsgálatok alapján

Sorrend	*Cementfajta*	*Minőségi szám*
1.	*Lábatlani S-54 jelű 500-as portlandcement*	*+ 27,9*
2.	*Lábatlani 500-as portlandcement*	*+ 25,9*
3.	*Beremendi 500-as portlandcement*	*+ 18,5*
4.	*Tatai 600-as portlandcement*	*+ 12,0*
5.	*Bélapátfalvi 500-as kohósalakportlandcement*	*+ 10,2*
6.	*Tatai 500-.as traszportlandcement*	*+ 9,6*
7.	*Lábatlani 400-as traszportlandcement*	*+ 2,6*
8.	*Selypi 400-as traszportlandcement*	*- 2,7*
9.	*Hejőcsabai 300-as kohósalakportlandcement*	*- 3,1*

6. A különböző cementvizsgálati módszerek eredményeinek az összehasonlítása

a) Ha a II., IV., V., VII. és IX. táblázatokat, vagyis a cementfajták minőségi sorrendjeit összevetjük, azt találjuk, hogy a változó mennyiségű – terülés alapján meghatározott – vízzel készített, plasztikus cementhabarcs vizsgálatok eredményei egyeznek a legjobban a betonvizsgálatok eredményeivel. Mindaz V., mind a IX. táblázatban az első négy helyen homogén portlandcementek állnak, a sorrend közepén az 500-as heterogén portlandcementek, 6. és 8., illetve 7. és 8. helyen a 400-as traszportland cementek találhatók, a hejőcsabai 300-as kohósalak portlandcement pedig relatíve is a leggyengébb szilárdságú cementfajtánk. Számszerűen is mutatja a viszonyokat az átlagos minőségi számokat tartalmazó X. táblázat.

X. táblázat: Átlagos minőségi számok

Cementfajta	*Átlagos minőségi szám*				
	Földnedves cement-habarcs	*Plasztikus cementhabarcs*		*Szabványos beton-keverék*	*Minősítő betonkocka*
		állandó vízzel	*változó vízzel*		
500-as homogén portlandcement	+ 10,0	+ 3,0	+ 3,0	-	+ 24,1
600-as homogén portlandcement	+ 5,0	- 14,3	- 19,1	- 2,2	+ 12,0
500-as heterogén portlandcement	+ 8,2	- 22,2	- 25,2	- 23,	+ 9,9
400 és 300 heterogén portlandcement	+ 21,9	- 14,7	- 30,1	- 37,5	- 1,1

Nézzük meg pl. a selypi 400-as traszportland cementnek a különböző vizsgálati módszerekkel kapott viszonylagos jóságát. E cement a földnedves cementhabarcs vizsgálat eredménye alapján a hazai cementek között viszonylag a legjobb (lásd II. táblázat). Az állandó vízmennyiséggel készített plasztikus cementhabarcs próbatestek vizsgálata alapján még a jósági sorrend 3. helyén áll (lásd IV. táblázat), ezzel szemben sem a terülés alapján meghatározott vízmennyiséggel készített plaszti-

kus cementhabarcs vizsgálat (lásd V. táblázat), sem pedig azt építési gyakorlat számára mérvadó betonkocka vizsgálat (lásd IX. táblázat) nem igazolja a cementfajta ennyire jó minőségét.

b) A plasztikus – elsősorban a terülés alapján meghatározott vízzel készült – cementhabarcs vizsgálat minősítésre alkalmas voltát a cementek húzószilárdságainak az összevetése is mutatja. A XI. táblázatban külön feltüntettük a földnedves cementhabarcs vizsgálatokkal nyert húzószilárdsági eredményeket s a kétféle plasztikus cementhabarcs vizsgálattal kapott hajlító-húzószilárdsági értékeket. E táblázatból látható, hogy a földnedves cementhabarcs vizsgálattal megállapított húzószilárdság a hejőcsabai 300-as kohósalak portlandcement kivételével valamennyi cementfajtánál gyakorlatilag azonosnak adódott. Ezzel szemben a plasztikus cementhabarcs vizsgálattal, különösen pedig a cementek különböző vízigényét tekintetbe vevő eljárással kapott hajlító-húzószilárdsági eredmények a várható és az építési gyakorlatban is mutatkozó minőségkülönbséget jól mutatják.

XI. táblázat: A földnedves és a plasztikus cementhabarcs vizsgálatok húzószilárdsági eredményei

Cementfajta	*28 napos húzószilárdság, kg/cm²*		
	földnedves habarcs	*állandó vízzel készült habarcs*	*változó vízzel készült habarcs*
Tatai 600-as portlandcement	41,9	71,7	69,0
Lábatlani S-54 jelű 500-as portlandcement	40,7	64,0	64,0
Lábatlani 500-as portlandcement	40,7	66,9	66,9
Beremendi 500-as portlandcement	38,8	64,9	64,7
Tatai 500-as portlandcement	41,4	58,7	56,6
Bélapátfalvi 500-as kohósalak portlandcement	40,7	56,3	56,3
Lábatlani 400-as traszportlandcement	40,9	51,1	47,2
Selypi 400-as traszportlandcement	39,3	53,2	43,2
Hejőcsabai 300-as kohósalak portlandcement	29,7	41,0	35,1

c) Az I. és III. táblázat értékeit egybevetve azt láthatjuk, hogy a plasztikus vizsgálattal meghatározott nyomó- és hajlítószilárdságok általában nagyobb szórást mutatnak százalékban kifejezve, mint a földnedves módszerrel meghatározott eredmények.

A nagyobb szórás nem a plasztikus vizsgálat bizonytalanabb voltának tudható be, ezt a 7. pontban számszerűen igazoljuk, hanem annak, hogy ez a módszer az ugyanazon cementfajta minőségingadozásait érzékenyebben mutatja, mint a földnedves habarcs vizsgálatán alapuló eljárás.

d) Az 1953. évben földnedves módszerrel vizsgált tatai 600-as és 500-as, a bélapátfalvi 500-as, továbbá az összes 500-as cementek 7 és 28 napos nyomószilárdságai közötti első fokú vonatkozási mértékeket összehasonlítottuk az 1953. évi összes – terülés alapján meghatározott vízmennyiséggel készült – plasztikus cementhabarcs vizsgálatok hasonló első fokú vonatkozási mértékeivel. A részletes számításokat a 2. függelék, az eredményeket a XII. táblázat tartalmazza.

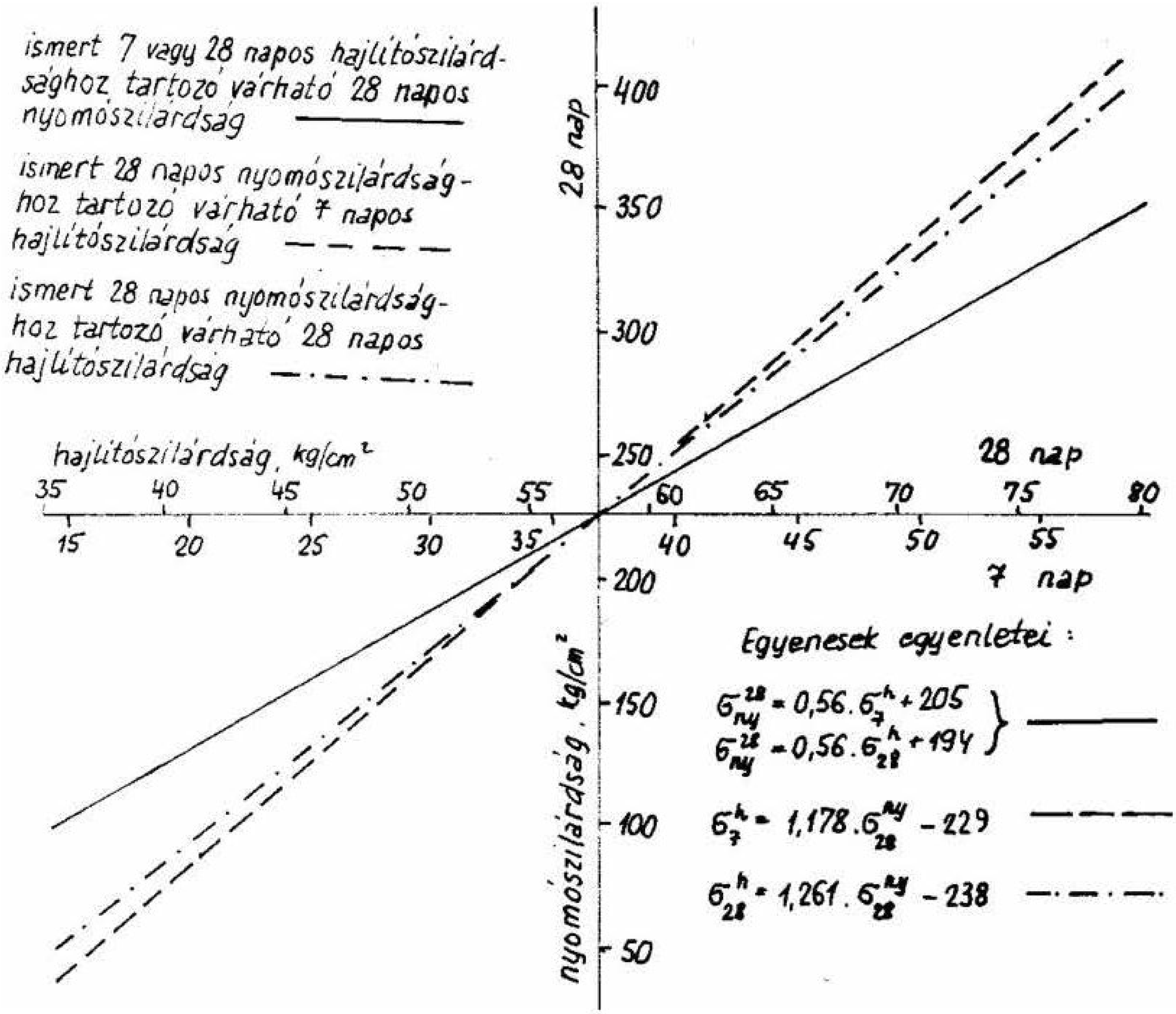
XII. táblázat: Cementvizsgálatok elsőfokú vonatkozási mértékei

Cementfajta	*Konzisztencia*	*A korrelációszámításba bevont szilárdságvizsgálatok*	*Elsőfokú vonatkozás mértéke*
Tatai 600-as portlandcement	földnedves	7 és 28 napos nyomószilárdság	39,9
	plasztikus	7 és 28 napos nyomószilárdság	55,5
Tatai 500-as traszportlandcement	földnedves	7 és 28 napos nyomószilárdság	54,3
	plasztikus	7 és 28 napos nyomószilárdság	42,6
Bélapátfalvi 500-as Kohósalakportlandcement	földnedves	7 és 28 napos nyomószilárdság	4,,7
	plasztikus	7 és 28 napos nyomószilárdság	78,1
1953 évben vizsgált összes 500-as cement	földnedves	7 és 28 napos nyomószilárdság	43,1
	plasztikus	7 és 28 napos nyomószilárdság	53,0
1953 évben vizsgált összes cement	plasztikus	7 napos hajlító- és 28 napos nyomszilárdság	81,4
	plasztikus	28 napos hajlító- és 28 napos nyomszilárdság	85,6

A XII. táblázat alapján megállapítható, hogy a 7 napos és a 28 napos nyomószilárdsági eredmények közötti elsőfokú vonatkozási mérték általában a plasztikus vizsgálatok esetén nagyobb, vagyis a

7 napos nyomószilárdsági eredményekből plasztikus vizsgálat esetén pontosabban lehet következtetni a 28 napos korban várható nyomószilárdságra, mint földnedves vizsgálat esetén.

Az 1953 évben vizsgált összes cementek bevonásával meghatároztuk a terülés alapján számított vízmennyiséggel készített plasztikus cementhabarcs próbatestek nyomószilárdsága és hajlítószilárdsága közötti korrelatív összefüggést is. A részletes számítást a 2. függelék, az eredményeket a XII. táblázat és az 5. ábra mutatja. A szabványos 28 napos nyomószilárdság és 28 napos hajlítószilárdság között az elsőfokú vonatkozási mérték a teljesnek 85,6 %-a, a 28 napos nyomószilárdság és a 7 napos hajlítószilárdság közötti pedig 81,4 %-a volt. Vagyis a 28 napos szabványos hajlítószilárdságból – de még a 7 napos hajlítószilárdságból is – igen jól lehet következtetni a 28 napos mértékadó szabványos nyomószilárdság várható értékére. Ennek pedig a cementminőség építéshelyi ellenőrzése szempontjából van nagy jelentősége.



5. ábra: A terülés alapján meghatározott mennyiségű vízzel készített plasztikus cementhabarcsok 7 és 28 napos hajlító- és nyomószilárdság vizsgálati eredményeinek a regressziós egyenesei

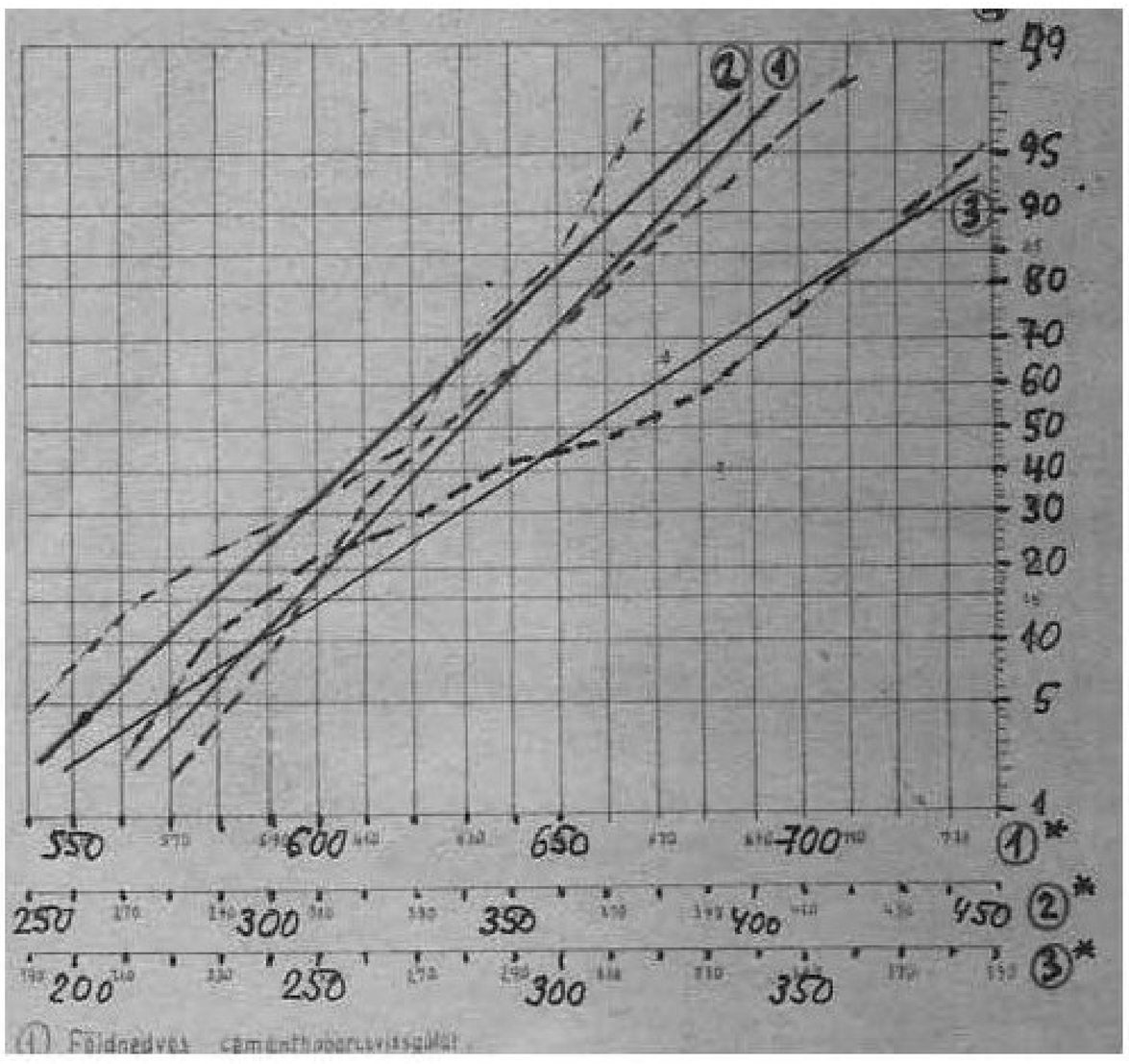
e) A vizsgálati eredmények alapján helytállnak látszik az a következtetés, hogy a változó mennyiségű – terülés alapján meghatározott – vízzel készített plasztikus cementhabarcs próbatestekkel végzett cementvizsgálati módszer az építőgyakorlat számára jóval megbízhatóbban jellemzi a cementek – elsősorban a heterogén cementek – szilárdságát, mint a jelenlegi minősítő földnedves cementhabarcs vizsgálat.

7. A cementvizsgálatok megbízhatósága

A 6.-11. ábrákon a 4. függelék részletszámításai alapján megrajzoltuk az egyes cementfajták háromféle módon meghatározott 28 napos nyomószilárdsági eredményeinek gyakorisági eloszlásait. Ezekben az ábrákban szaggatott vonallal a vizsgálati eredményekből kapott tényleges eloszlást, teljes vonallal a számítással kapott kiegyenlítő eloszlás-vonalat jelöltük. Az ábrák alapján megállapítható, hogy a szilárdsági eredmények gyakoriság-eloszlása a vizsgálatok aránylag csekély számát tekintve igen jó közelítéssel normálisnak tekinthető. Ebből arra lehet következtetni, hogy sem a cementgyártás, sem a cementvizsgálat nincs állandó hibával terhelve.

Jóval pontosabb és részletesebb képet nyújt különböző cementvizsgálati módszerek megbízhatóságáról az az alábbi számítási eljárás, amelyhez az Alkalmazott Matematikai Intézet szíves közlése alapján jutottunk. Ennek segítségével j közelítéssel kiszámítható az, hogy mekkora volt külön a cement egyenlőtlen minősége által okozott, továbbá külön a vizsgálati eljárás okozta szórás.

A felhasznált képletek a következők:

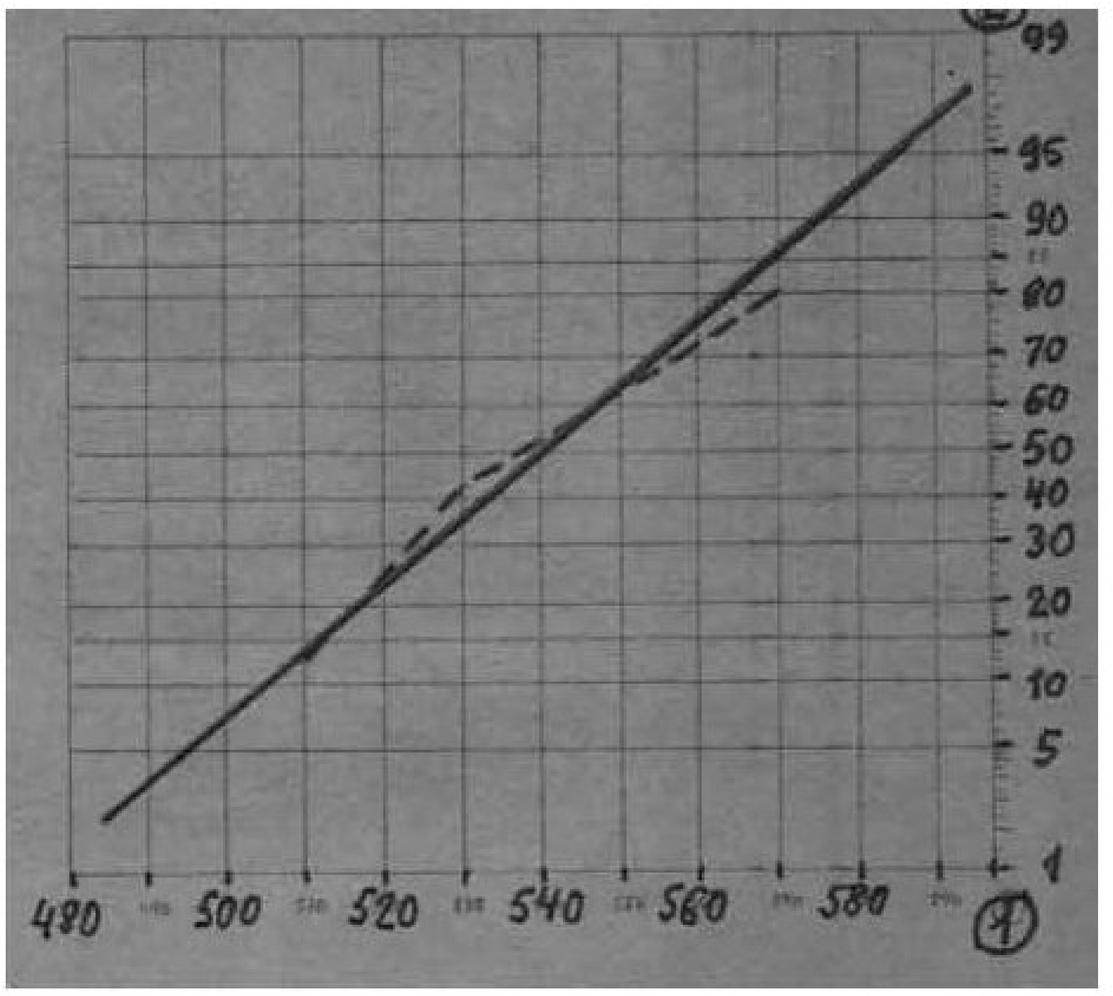


6. ábra: Tatai 600-as portlandcement vizsgálati eredményeinek gyakorisági eloszlása

① Földnedves cementhabarcsvizgálat ② Plasztikus ce-menthabarcsvizsgálat, állandó vízmennyiséggel

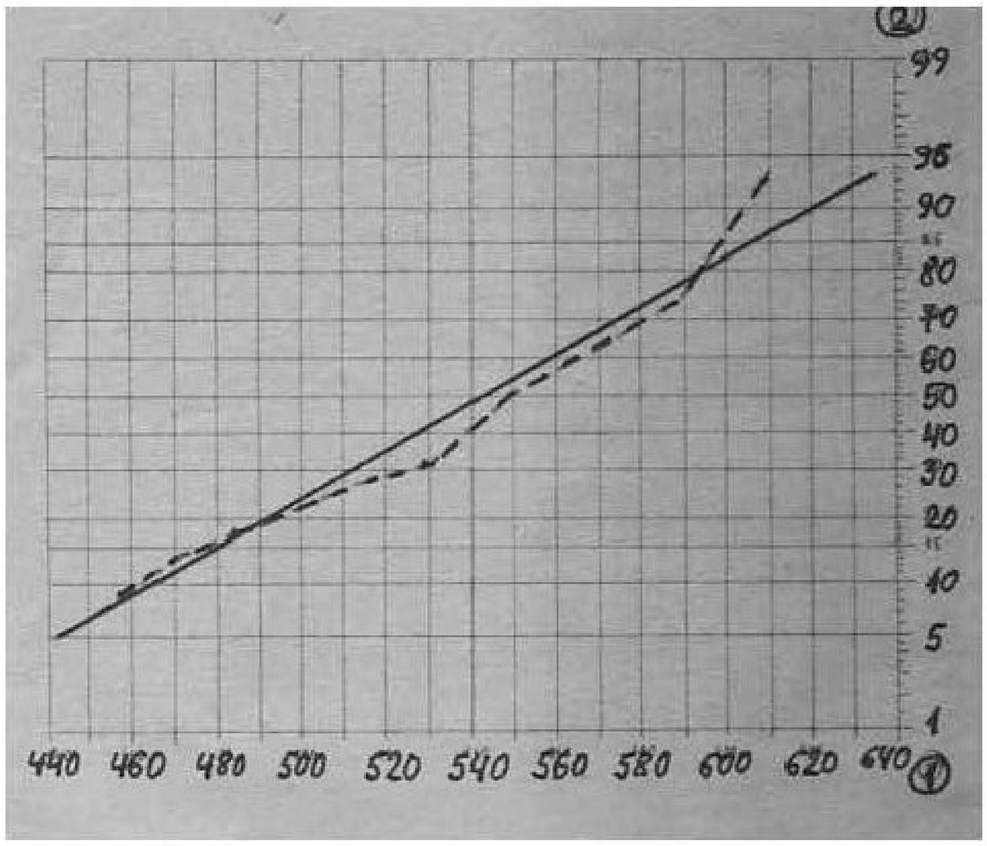
③ Plasztikus cementhabarcsvizsgálat változó vízmennyiséggel

④ Eloszlás % * 28 napos nyomószilárdságok



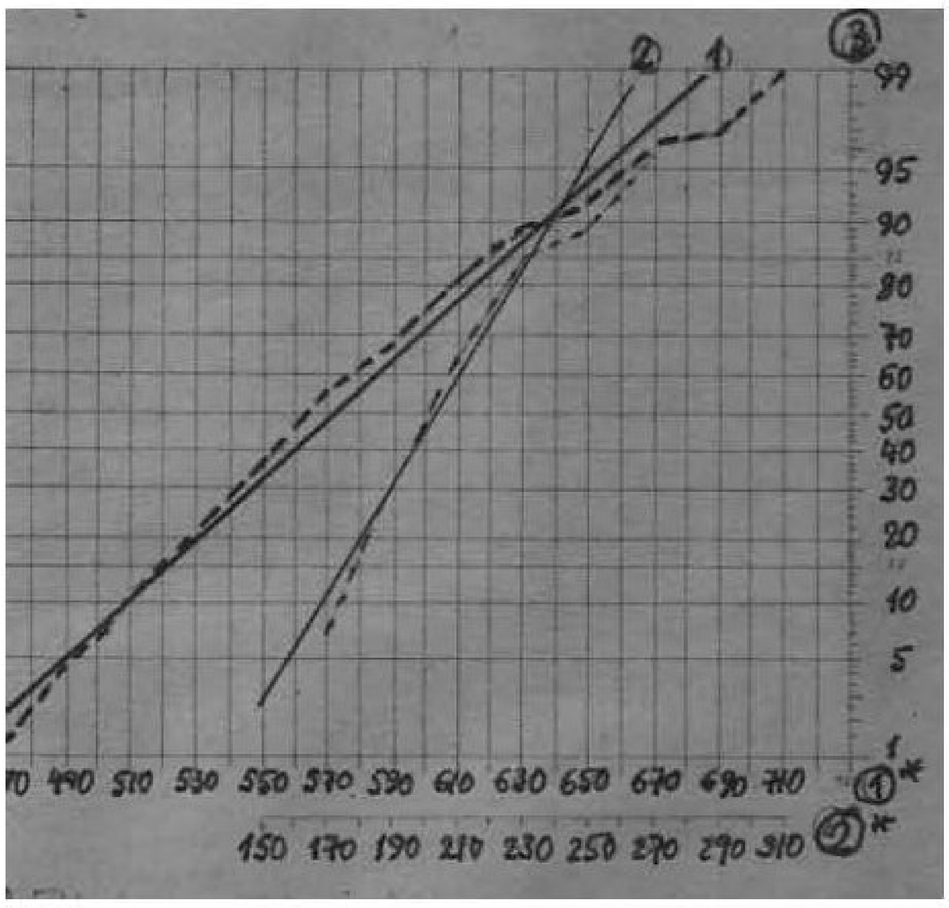
7. ábra: Lábatlani S-54 jelű 500-as portlandcement vizsgálati eredményeinek gyakorisági eloszlása

① Földnedves cementhabarcsvizsgálat, 28 napos szilárdság ② Eloszlás %



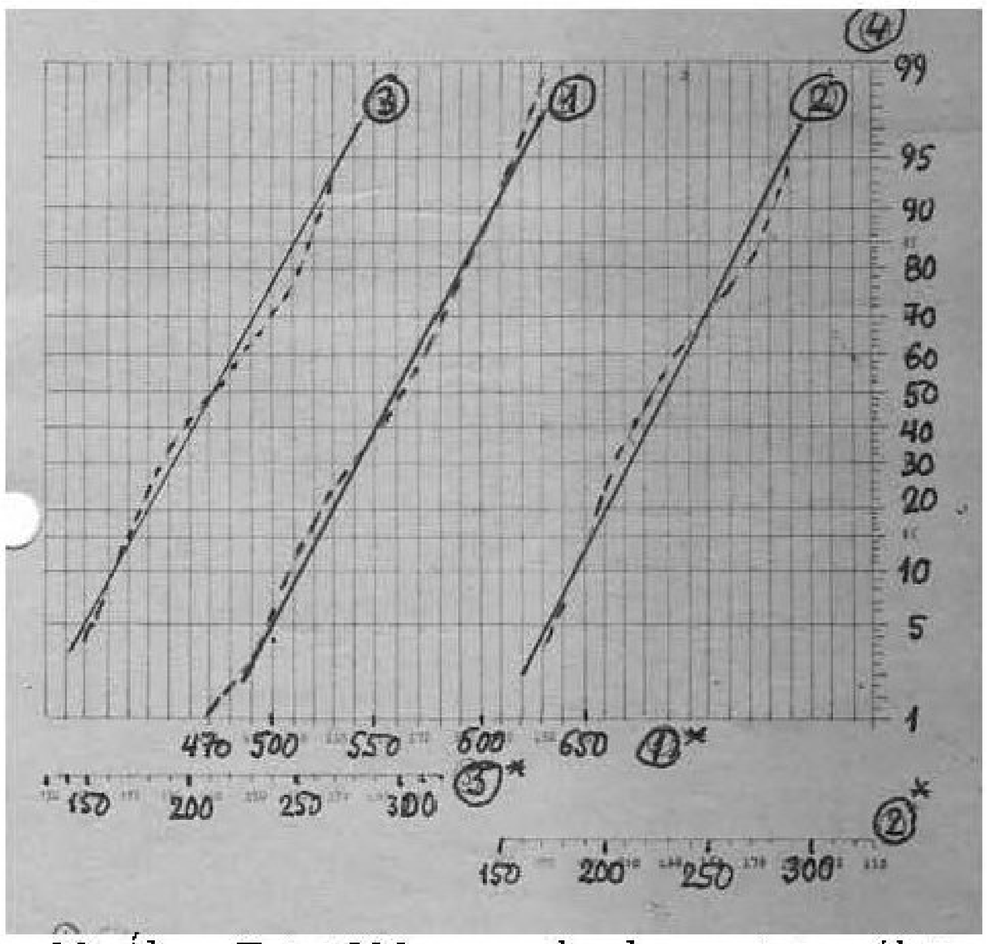
8. ábra: Beremendi 500-as portlandcement vizsgálati eredményeinek gyakorisági eloszlása

① Földnedves cementhabarcsvizsgálat, 28 napos nyomószilárdság
② Eloszlás, %



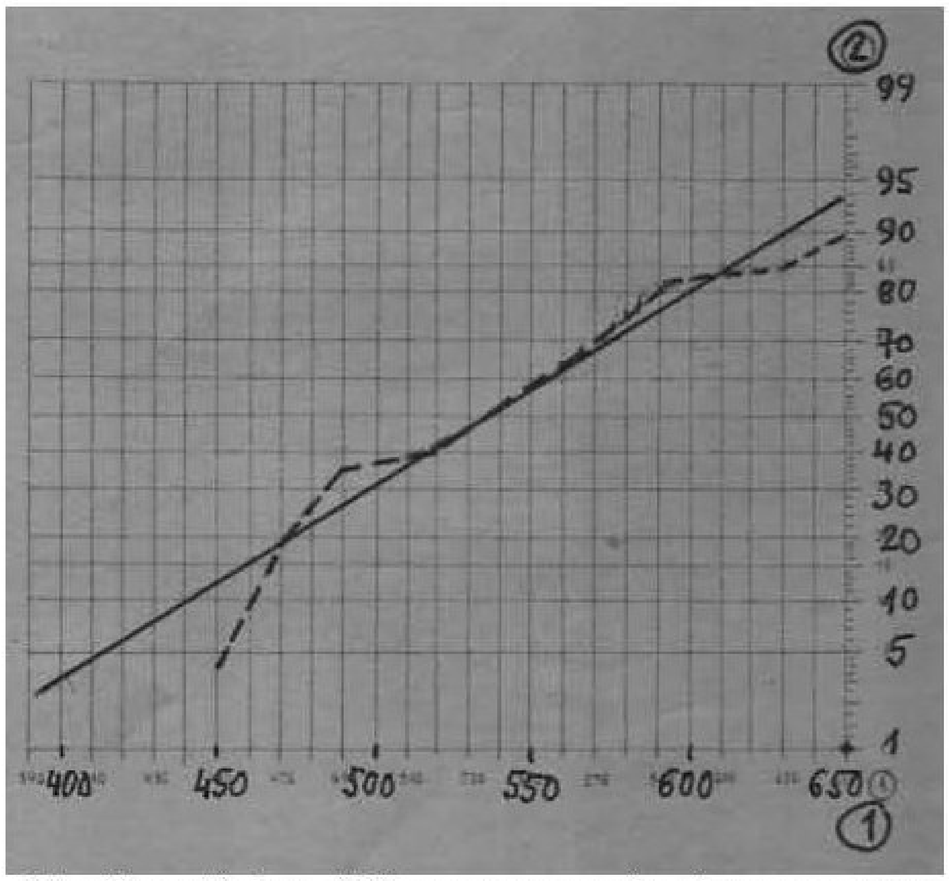
9. ábra: Bélapátfalvi 500-as kohósalakportlandcement vizsgálati eredményeinek gyakorisági eloszlása

① Földnedves cementhabarcsvizsgálat
② Plasztikus cementhabarcsvizsgálat
③ Eloszlás, %
* 28 napos nyomószilárdságok



10. Ábra: Tatai 500-as portlandcement vizsgálati eredményeinek gyakorisági eloszlása

① Földnedves cementhabarcsvizsgálat
② Plasztikus cementhabarcsvizsgálat állandó vízzel
③ Plasztikus cementhabarcsvizsgálat változó vízzel
④ Eloszlás, %
* 28 napos nyomószilárdságok



11. ábra: Selypi 400-as traszportlandcement vizsgálati eredményeinek gyakorisági eloszlása

① Földnedves cementhabarcsvizsgálat, 28 napos nyomószilárdság
② Eloszlás

A felhasznált képletek a következők:

$$s_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\bar{x}_i - \bar{x})^2}{n-1} - \frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{k}(x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{nk(n-1)}}$$

és

$$s_v = \sqrt{s^2 - s_a^2}$$

ahol s_a = a cement egyenlőtlen minősége által okozott szórás, kg/cm^2

s_v = a vizsgálati módszer bizonytalanságából adódó szórás, kg/cm^2

s = a szilárdsági eredmények teljes szórása, kg/cm^2

n = a cementvizsgálatok száma

k = egy vizsgálathoz készített próbatestek száma (az MNOSZ 523-53 5.23. pont szerint esetünkben $k = 4$)

x_{ij} = az *i-dik* vizsgálatból kapott *j-dik* mérési eredmény, kg/cm^2

$\bar{x}_i$ = az *i-dik* vizsgálatból kapott átlagos nyomószilárdság, kg/cm^2

$\bar{x}$ = a teljes szilárdságvizsgálati átlag, kg/cm^2

Ezeknek a képleteknek a segítségével szétválasztottuk vizsgált cementek szilárdsági szórását. Az eredményeket a XIII. és a XIV. táblázat tartalmazza. E két táblázat adataiból a következők olvashatók ki:

a) Valamennyi vizsgálati módszer esetén a szórás igen nagy részét –általában több, mint 90 %-át – az anyag egyenlőtlen minősége okozta. A vizsgálati eljárások bizonytalanságaiból származó szórás befolyása nem lényeges.

b) Ennek ellenére megállapítható a plasztikus cementhabarcs vizsgálati módszerének fölénye ezen a téren is, mert ezeknek a vizsgálati módszereknek a szórása a nyomószilárdság esetén is, de különösen a húzószilárdság meghatározásakor jóval kisebb, mint a földnedves vizsgálati módszeré.

XIII. táblázat: A cementminőség és a cementvizsgálati módszerek szórásai a nyomószilárdsági eredmények alapján

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*	*14*	*15*	*16*	*17*	*18*	*19*	*20*
A	1	85	100	84	99	12	14	35	100	35	99	3,7	10	36	100	36	99	3,7	11
	7	44	100	40	91	18	40	44	100	44	99	5,3	2	48	100	47	99	4,8	10
	28	33	100	28	87	16	49	37	100	36	97	9,6	26	54	100	53	100	3,5	6
B	2	67	100	67	99	7	11	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	7	54	100	53	97	2	23												
	28	58	100	56	96	16	28												
C	2	49	100	49	98	9	18	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	7	57	100	57	99	9	16												
	28	27	100	22	86	15	58												
D	2	62	100	61	100	5	8	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	7	55	100	54	98	8	20												
	28	51	100	48	95	16	31												
E	7	43	100	41	94	14	33	41	100	41	99	3,7	9	32	100	31	99	3,7	12
	28	36	100	32	91	17	48	35	100	34	98	7,4	21	39	100	39	100	2,3	6
F	7	73	100	73	99	10	13	31	100	38	10	4	10	39	100	38	100	4	10
	28	50	100	48	94	16	33	27	100	26	94	6,8	25	27	100	26	94	6,8	25
G	7	33	100	31	94	12	35	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	28	59	100	57	97	15	25												
H	7	70	100	69	99	12	17	27	100	27	99	3,4	12	20	100	20	99	2,2	11
	28	74	100	72	97	18	24	20	100	19	96	5,6	28	19	100	19	96	5,3	28
I	7	97	100	97	100	8	8	30	100	30	99	3,3	11	26	100	25	100	2,2	9
	28	118	100	117	100	11	9	44	100	43	99	6,2	14	9	100	9	99	1,9	21

Jelmagyarázat a XIV. táblázat szerint

XIV. táblázat: A cementminőség és a cementvizsgálati módszerek szórásai a húzószilárdsági eredmények alapján

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*	*11*	*12*	*13*	*14*	*15*	*16*	*17*	*18*	*19*	*20*
A	1	6,8	100	6,6	97	1,6	24	10,7	100	10,6	99	1	9	10,7	100	10,7	100	0,9	9
	7	3,1	100	2,8	90	1,4	45	6,7	100	8,5	98	1,8	21	10,1	100	10	99	1,2	12
	28	2,8	100	2,3	82	1,7	58	6,4	100	6,1	95	2	31	6,3	100	5,9	95	2	32
B	2	4,6	100	4,3	94	1,6	34	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	7	3,6	100	3,3	92	1,4	39												
	28	4,5	100	4,1	91	1,9	42												
C	2	4,9	100	4,8	97	1,1	23	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	7	3,4	100	3,1	89	1,4	40												
	28	3,1	100	2,6	84	1,7	55												
D	2	4,9	100	4,8	98	1,1	21	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	7	3,1	100	2,7	87	1,6	50												
	28	4,4	100	4	90	1,9	42												
E	7	4,7	100	4,4	94	1,9	36	8	100	7,9	99	1,3	16	6,4	100	6,2	98	1,4	23
	28	3,2	100	2,6	81	1,9	59	5,9	100	5,7	96	1,6	27	5,9	100	5,6	95	1,8	31
F	7	5	100	3,1	89	1,6	46	9,7	100	9,6	99	1,3	13	9,7	100	9,6	99	1,3	13
	28	4,3	100	3,8	92	1,6	39	8,6	100	8,5	98	1,7	20	8,6	100	8,5	98	1,7	20
G	7	3,5	100	3,1	89	1,6	46	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	28	4,1	100	3,8	92	1,6	39												
H	7	5,2	100	5,1	96	1,5	28	5,5	100	3,4	96	1	28	3,6	100	3,3	93	1,3	37
	28	5,5	100	5,3	97	1,4	25	6,5	100	6	93	2,4	37	9,4	100	9,1	96	2,6	28
I	7	8,1	100	8	99	1	12	7,3	100	7,3	99	1	14	5,3	100	5,1	98	1,1	21
	28	6,5	100	8,2	96	2	30	8,7	100	8,6	99	1,3	15	11,3	100	11,3	100	0,7	6

Jelmagyarázat:

1 Cementfajta ***2*** Kor ***3-20*** Szórások ***3-8*** Földnedves vizsgálat ***3-4*** Teljes ***3*** kg/cm^2 ***4*** % ***5-6*** Anyag ***5*** kg/cm^2 ***6*** % ***7-8*** Vizsgálat ***7*** kg/cm^2 ***8*** % ***9-14*** Plasztikus cementhabarcs vizsgálat, állandó vízzel ***9-10*** Teljes ***9*** kg/cm^2 ***10*** % ***11-12*** Anyag ***11*** kg/cm^2 ***12*** % ***13-14*** Vizsgálat ***13*** kg/cm^2 ***14*** % ***15-20*** Plasztikus cementhabarcs vizsgálat, változó vízzel ***15-16*** Teljes ***15*** kg/cm^2 ***16*** % ***17-18*** Anyag ***17*** kg/cm^2 ***18*** % ***19-20*** Vizsgálat ***19*** kg/cm^2 ***20*** %

A Tatai 600-as portlandcement **B** Beremendi 500-as portlandcement **C** Lábatlani S-54 jelű 500-as portlandcement **D** Lábatlani 500-as portlandcement **E** Tatai 500-as traszportlandcement **F** Bélapátfalvi 500-as kohósalakportlandcement **G** Lábatlani 400-as traszportlandcement **H** Selypi 400-as traszportlandcement **I** Hejőcsabai 300-as kohósalakportlandcement

* kevés számú adat miatt nem mérvadó

8. Az 1952. és 1953. évi földnedves cementvizsgálatok összehasonlítása

Az 1953 évi cementvizsgálati eredmények (I.táblázat) összehasonlítása az 1952. évi cementvizsgálatainkkal (részletesen lásd: *Popovics S. – Ujhelyi J.: Az 1952. évben végzett cementvizsgálatok eredményeiről. Építőanyag, 1953. 10. p 315*) azt az eredményt adja, hogy a bélapátfalvi 500-as kohósalakportlandcementek kivételével a többi vizsgált cementfajta 28 napos nyomószilárdsága kis mértékben ugyan, de csökkent. Ezzel szemben a húzószilárdság általában növekedett.

A 4. függelékben részletezett számítás szerint megállapítható, hogy az 500-as szilárdsági osztályba tartozó cementek 28 napos nyomószilárdsági eredményeinek az átlaga

1952. évben közelítőleg 600 kg/cm^2

1953. évben közelítőleg 560 kg/cm^2.

E szerint tehát 1953. évben 1952. évhez képest az összes 500-as cement vizsgálati eredményei kb. 7 % nyomószilárdság-csökkenést mutatnak. Legjelentősebb ez a szilárdságcsökkenés a tatai 500-as cementnél, amely

1952. évben közelítőleg 630 kg/cm^2

1953. évben közelítőleg 560 kg/cm^2

adagolásával lehet elérni. Az előírt B 140-s beton helyett a fentiek szerint 43 %-ban előállított feleslegesen jobb minőségű betonanyag átlagszilárdsága 1952. évben 244 kg/cm^2 volt, ehhez a szilárdsághoz ugyancsak II. szemszerkezetű adalékanyag és plasztikus konzisztencia esetén kb. 380 kg/m^3 500-as cementadagolás szükséges. A feleslegesen jobb betonminőségnél jelentkező cementtöbblet a B 140 betonoknál tehát m^3-enként 140 kg, ami általánosítva a betonvizsgálataink által képviselt összes betonmennyiségre

$$53000 \times 140 = 74100 \text{ mázsa}$$

500-as cementet tesz ki. Megjegyezzük azonban, hogy az általánosítások folytán ennek cementmennyiségnek elsősorban nem a számértékét, hanem a nagyságrendjét tartjuk helyesnek.

A fenti számítás tehát arra az eredményre vezet, hogy helyes betonkészítés mellett csak az ÉTI Minősítő Laboratóriuma által vizsgált betonkészítmények esetén óvatos közelítéssel is csupán 1952. évben kb. 74000 mázsa 500-as cementtel egyenértékű cementmennyiség lett volna megtakarítható. Mivel az ÉTI Laboratóriuma az Építésügyi Minisztériumhoz tartozó építőipari vállalatok építkezéseinek is csak egy hányadát – becslésünk szerint 1/5 részét – ellenőrzi, így országos viszonylatban a feleslegesen felhasznált cementmennyiség többszázezer mázsára, ennek értéke sok millió forintra tehető.

4. A betonösszetétel és a szilárdság összehasonlítása

A fenti gondolatmenettel szemben azt lehetne felhozni ellenérvként, hogy a kockatestek még a régi vállalkozói szokás szerint más, jobb – nagyobb cementtartalmú, kedvezőbb víz/cement tényezőjű, erőteljesen tömörített – betonból készülnek, mint maga a beton- vagy vasbeton-szerkezet, és így a próbatestek szilárdsági eredményeit nem lehet általánosítani a szerkezet betonjára.

Ebben az esetben azonban a próbakockáknak nemcsak a megkívánt szilárdsághoz képest, hanem az előírt névleges betonösszetételhez képest is irreálisan nagyobb szilárdságot kellene adniuk. Ebből a szempontból érdekes a szilárdsági eredményeknek a közölt készítési adatokhoz (cementtartalom, adalékanyag, konzisztencia, kor stb.) viszonyított alacsony vagy magas volta.

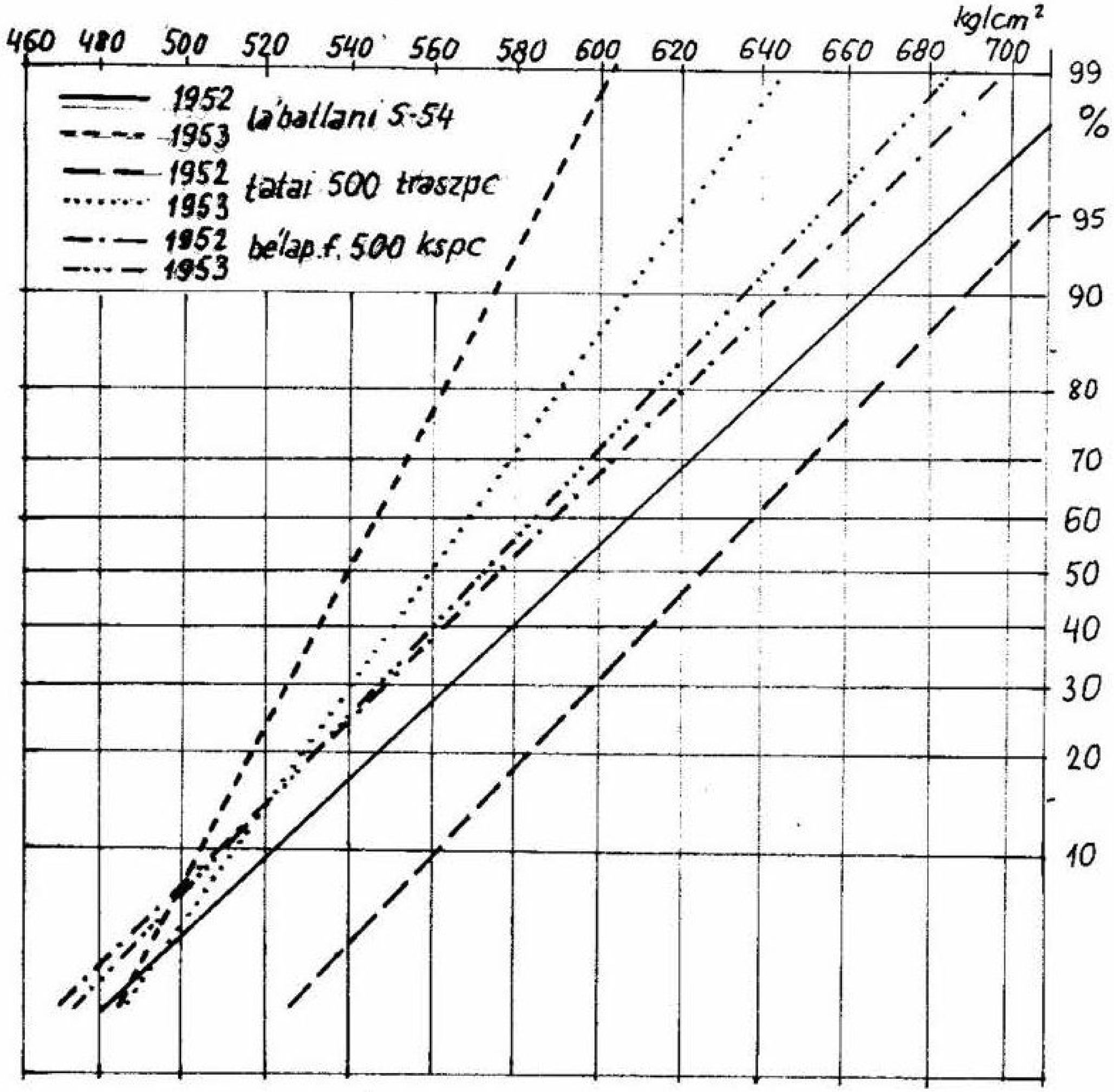
Az 5. táblázat szerint 1952. évben a beérkezett betonkeverékeknek átlagosan 7,3 %-a – nem az előírt betonszilárdsághoz, hanem a megbízó által közölt betonösszetételhez képest – a szokásosnál alacsonyabb, 14,2 %-a magasabb szilárdsági eredményt adott; ezzel szemben 1953. I. félévben a beérkezett betonkeverékeknek 7,8 %-a adott szokatlanul alacsony, míg 24,6 %-a magas eredményt.

5. táblázat

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*
1952, 300, I, fn	B280	2,75	67,3	30,0	308-367
1953, 300, I, fn	B280	7,0	69,2	23,8	291,359
1952, 300, I, pl	B240	5,1	86,9	8,0	241-283
1953, 300, I, pl	B240	11,0	84,5	4,5	229-277
1952, 300, II, fn	B220	9,8	81,4	8,8	209-259
1953, 300, II, fn	B220	10,2	49,6	40,2	223-313
1952, 300, II, pl	B190	11,4	78,6	10,0	179-228
1953, 300, II, pl	B190	2,4	67,6	30,0	207-256
1952. évi átlag	átlag	7,3	78,5	14,2	
1953.I.fé. átlag		7,8	67,6	24,6	

Ezek a számok azt mutatják tehát, hogy a beton kockaszilárdsága az esetek 70-8 %-ában reális volt a beton közölt összetételéhez képest. Ezt egybevetve a 3. táblázat számadataival – amelyek szerint a vizsgált betonoknak csak egyharmad része felelt meg a költségvetési kiírásnak – talán le szabad vonni azt a következtetést, hogy a betonvizsgálatok eredményeinek magas volta nem a próbakockák átlagostól eltérő betonminőségének tulajdonítható, hanem inkább annak, hogy sok esetben az előírt betonösszetétel és a megkívánt kockaszilárdság nincs egymással összhangban. Úgy látszik tehát, hogy az előírt szilárdsághoz tartozó betonösszetételt nem előzetes betonvizsgálatok alapján, még csak nem is a 89. sz. Miniszteri Utasítás ajánlásainak megfelelően választják meg az építéshelyek, hanem – talán túlzott óvatosságból – betonvizsgálatainknak hozzávetőlegesen harmad részében a szükségesnél nagyobb cementadagolással dolgoztak.

Az 5. táblázat egyes oszlopai az alább részletezett számértékeket tartalmazzák:



12. ábra: Az 1952. és 1953. évi földnedves cementhabarcsvizsgálatok nyomószilárdsági eredményeinek kiegyenlített gyakorisági eloszlása

XV. táblázat: Az 1952. és 1953. évi földnedves cementhabarcsvizsgálatok 28 napos szilárdsági eredményeinek összehasonlítása

1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*	*10*
Lábatlani S-54 500-as portlandcement	1952	595	55,9	20	0,049	36	3,44	20	0,049
	953	540,4	26,9	8		40,7	3,13	8	
Tatai 500-as trasz-portlandcement	1952	627	50,1	62	>0,006	38,9	4,01	62	0,137
	1953	559,9	36,2	54		41,4	3,21	54	
Bélapátfalvi 500-as kohósalakportlandcement	1952	577	53,5	44	65,6	37	3,84	44	> 0,006
	1953	572,1	49,5	45		40,7	4,25	45	

Imagyarázat: ***1*** Cementfajta ***2*** Vizsgálat éve ***3*** Átlagos nyomószilárdság, kg/cm^2 ***4*** Szórás, kg/cm^2 ***5*** izsgálatok száma ***6*** Valószínűség, % ***7*** Átlagos húzószilárdság, kg/cm^2 ***8*** Szórás, kg/cm^2 ***9*** Vizsgálak száma ***10*** Valószínűség, %

Összefoglalás

1953. évben a cementek szilárdságát az eddig is szokásos földnedves habarcsokon kívül szabványos plasztikus habarcsokkal is megvizsgáltuk Ezeknek a vizsgálatoknak az eredményeit is feldolgoztuk, sőt ezen túlmenően kiértékeltük a betonvizsgálatok szilárdsági eredményeit is a cementek minősége szempontjából.

A rendelkezésünkre álló vizsgálati eredményeket matematikai statisztikai módszerekkel dolgoztuk fel. Az összefüggéseket ugyanilyen eljárásokkal állapítottuk meg.

A különböző vizsgálati eredmények egybevetéséből megállapítható, hogy a cementeknek, különösen pedig a heterogén cementeknek a betonban várható szilárdságát a terülés alapján megállapított változó vízmennyiséggel készült plasztikus habarcsvizsgálatok jellemzik a legjobban. A plasztikus vizsgálati eljárás ugyanazon cementfajta minőségingadozásait is érzékenyebben mutatja. E mellett a vizsgálati módszer mellett szól még a nagyobb megbízhatóság, mert amint kimutattuk, ennek az eljárásnak a szórása kisebb, mint a földnedves cementvizsgálaté.

A vizsgálati eredményeket összehasonlítva az 1952. évben vizsgált cementek eredményeivel azt kapjuk, hogy általában a földnedves eljárással meghatározott 28 napos nyomószilárdságok kis mértékben csökkentek, a húzószilárdságok pedig ugyancsak kis mértékben növekedtek.

Az 1952. évben, illetve 1953. I. félévben az ÉTI Minősítő Laboratórium Mechanikai Szakosztálya által végzett betonkocka vizsgálatok kiértékelése

Popovics Sándor – Ujhelyi János

A kutatás tartalmának rövid ismertetése

Az 5 éves terv által az építőiparunk elé állított nagy feladatok gyakorlati megvalósítása csak akkor válhat lehetővé, ha a műszaki vezetés állandóan figyelemmel kíséri építkezéseinket a műszaki és gazdaságossági követelmények maradéktalan megvalósítása szempontjából. Mivel az ÉTI Minősítő Laboratóriumba az utóbbi években olyan nagy számban érkeztek betonvizsgálati megbízások, amelyek adatainak matematikai-statisztikai alapon történő rendszerezése lehetővé vált, beszámolónkban az építéshelyi betonkészítés egyes – a kiértékelés során megmutatkozó – problémáira kívánunk rámutatni a műszaki és gazdasági szempontok megvilágításában.

Az 1952. évben, illetve 1953. I. félévben beküldött betonanyagok vizsgálati eredményeiből az a következtetés vonható le, hogy építkezéseink sok esetben tervszerűtlenül, szakértelem nélkül és gyakran cementpazarlással állítják elő betonkészítményeiket.

A próbatestek szabályszerű beküldése terén 1953. évben számottevő javulás mutatkozott. Ez jórészt annak tulajdonítható, hogy a szabálytalanságokra és rendellenességekre vizsgálati bizonyítványainkban mindig nyomatékosan felhívtuk a megbízók figyelmét.

Az észlelt hibák kiküszöbölésére, illetve csökkentésére a beszámolónk végén teszünk néhány javaslatot.

A kutatási munka részletes beszámolója

1. Általában

Az ÉTI Minősítő Laboratóriumában 1952. évben 1232, 1953. I. félévben pedig 1105 betonvizsgálati megbízás érkezett. Egy-egy megbízás 1-6 db, átlagosan 3-4 db. 20 cm élhosszúságú betonkocka vizsgálatára vonatkozott.

1951 évben 989 betonvizsgálati megbízásunk volt. Ehhez képest az 1952. évi megbízások száma kb. 125 %, az 1953. I. félévi megbízásoké pedig (fél évre !) 112 % volt. A betonvizsgálatok mennyisége tehát az építkezésekre fordított beruházási összegek növekedésével egyidejűleg jelentősen felduzzadt.

Az építőipar előtt álló további nagy feladatok időszerűvé teszik azt, hogy ezeknek az összegyűjtött laboratóriumi eredményeknek az alapján megvizsgáljuk a kivitelező vállalatoknak a betonozás terén végzett munkáját. Mindjárt le kell rögzítenünk azonban azt, hogy a rendelkezésre álló nagyszámú vizsgálati eredmény nem értékelhető ki teljes egészében a következő okok miatt:

a) A megbízólevelek a próbatestek összetételére, készítésére és utókezelésére sok esetben vagy egyáltalán nem, vagy csak kevés számban közölnek adatokat.

b) A megbízólevelekben található adatok gyakran nyilvánvalóan tévesek, vagyis a cementtartalom, az adalékanyag, a víz/cement tényező stb. megbízólevélben közölt jellemzői és a törési eredmények között ellentmondás tapasztalható.

c) Sokszor csak 1 vagy 2 db. próbatestet küldenek vizsgálatra, holott mértékadó vizsgálati eredményhez legalább 3 db., azonos összetételű és korú, egyenlő körülmények között készült próbatest szükséges.

Éppen ezen okok miatt a következőkben nem a teljes vizsgálati anyagot dolgoztuk fel, hanem kiragadva egynéhány jellemző adatcsoportot, az ezeknek alapján végzett kiértékelést általánosítottuk.

2. Eredmények

A következő táblázatokban az 500-as cementtel készített betonok

- 300 illetve 270 kg/m^3 cementtartalom,
- I. illetve II. szemszerkezetű adalékanyag, továbbá
- földnedves, illetve plasztikus konzisztencia

szerint csoportosított szilárdsági eredményeit közöljük.

1. táblázat: 300 kg/m³ 500-as cementet tartalmazó, I. szemszerkezetű adalékanyaggal, földnedves konzisztenciával (v/c = 0,4 – 0,5), +15 °C feletti hőmérsékleten készített betonok szilárdsága 28 napos korban (a 89. sz. Miniszteri Utasítás szerinti szilárdság: 280 kg/cm²)

1952. évi vizsgálatok		*1953. I. félévi vizsgálatok*	
Szilárdságok, kg/cm²	*Gyakoriság*	*Szilárdságok, kg/cm²*	*Gyakoriság*
241 – 260	1	181 – 200	1
261 – 280	5	201 – 220	1
281 – 300	1	221 – 240	2
301 – 320	2	241 – 260	5
321 – 340	7	261 – 280	7
341 – 360	10	281 – 300	8
361 – 380	2	301 – 320	19
381 – 400	1	321 – 340	12
401 – 420	1	341 – 360	16
421 – 440	2	361 – 380	10
		381 – 400	6
		401 – 420	5
		421 – 440	1
összesen	32	összesen	93
Átlagos nyomószilárdság, kg/cm²:	335	*Átlagos nyomószilárdság, kg/cm²:*	325,7
Szórás, kg/cm²:	44,4	*Szórás, kg/cm²:*	50,2
Variációs tényező, %:	13,3	*Variációs tényező, %:*	14,1

2. táblázat: 300 kg/m³ 500-as cementet tartalmazó, I. szemszerkezetű adalékanyaggal, képlékeny konzisztenciával (v/c = 0,5 – 0,6), +15 °C feletti hőmérsékleten készített betonok szilárdsága 28 napos korban (a 89. sz. Miniszteri Utasítás szerinti szilárdság: 240 kg/cm²)

1952. évi vizsgálatok		*1953. I. félévi vizsgálatok*	
Szilárdságok, kg/cm²	*Gyakoriság*	*Szilárdságok, kg/cm²*	*Gyakoriság*
181 – 200	2	181 – 200	4
201 – 220	1	201 – 220	3
221 – 240	4	221 – 240	10
241 – 260	11	241 – 260	13
261 – 280	8	261 – 280	5
281 – 300	5	281 – 300	8
301 – 320	4	301 – 320	1
321 – 340	1	321 – 340	2
összesen	36	összesen	46
Átlagos nyomószilárdság, kg/cm²:	262,2	*Átlagos nyomószilárdság, kg/cm²:*	251,7
Szórás, kg/cm²:	32,2	*Szórás, kg/cm²:*	33,9
Variációs tényező, %:	12,3	*Variációs tényező, %:*	13,5

3. táblázat: 300 kg/m³ 500-as cementet tartalmazó, II. szemszerkezetű adalékanyaggal, földnedves konzisztenciával (v/c = 0,5 – 0,6), +15 °C feletti hőmérsékleten készített betonok szilárdsága 28 napos korban (a 89. sz. Miniszteri Utasítás szerinti szilárdság: 220 kg/cm²)

1952. évi vizsgálatok		*1953. I. félévi vizsgálatok*	
Szilárdságok, kg/cm²	*Gyakoriság*	*Szilárdságok, kg/cm²*	*Gyakoriság*
161 – 180	2	161 – 180	2
181 – 200	8	181 – 200	3
201 – 220	4	201 – 220	5
221 – 240	13	221 – 240	8
241 – 260	8	241 – 260	10
261 – 280	2	261 – 280	3
281 – 300	1	281 – 300	6
301 – 320	3	301 – 320	2
321 – 340	1	321 – 340	4
összesen	42	341 – 360	2
		361 – 380	2
		381 – 400	1
		401 – 420	2
		összesen	50
Átlagos nyomószilárdság, kg/cm²:	232,9	*Átlagos nyomószilárdság, kg/cm²:*	268,8
Szórás, kg/cm²:	37,9	*Szórás, kg/cm²:*	67,0
Variációs tényező, %:	16,3	*Variációs tényező, %:*	24,9

4. táblázat: 300 kg/m³ 500-as cementet tartalmazó, II. szemszerkezetű adalékanyaggal, plasztikus konzisztenciával (v/c = 0,6 – 0,7), +15 °C feletti hőmérsékleten készített betonok szilárdsága 28 napos korban (a 89. sz. Miniszteri Utasítás szerinti szilárdság: 190 kg/cm²)

1952. évi vizsgálatok		*1953. I. félévi vizsgálatok*	
Szilárdságok, kg/cm²	*Gyakoriság*	*Szilárdságok, kg/cm²*	*Gyakoriság*
101 – 120	1	161 – 180	2
121 – 140	1	181 – 200	3
141 – 160	3	201 – 220	11
161 – 180	2	221 – 240	5
181 – 200	15	241 – 260	5
201 – 220	9	261 – 280	2
221 – 240	4	281 – 300	2
241 – 260	4	301 – 320	1
261 – 280	2	321 – 340	1
281 – 300	1	összesen	32
összesen	42		
Átlagos nyomószilárdság, kg/cm²:	202,9	*Átlagos nyomószilárdság, kg/cm²:*	231,2
Szórás, kg/cm²:	36,5	*Szórás, kg/cm²:*	35,8
Variációs tényező, %:	18,0	*Variációs tényező, %:*	15,5

5. táblázat: 270 kg/m³ 500-as cementet tartalmazó, I. szemszerkezetű adalékanyaggal, földnedves konzisztenciával (v/c = 0,4 – 0,5), +15 °C feletti hőmérsékleten készített betonok szilárdsága 28 napos korban (a 89. sz. Miniszteri Utasítás szerinti szilárdság: 250 kg/cm²)

1952. évi vizsgálatok		*1953. I. félévi vizsgálatok*	
Szilárdságok, kg/cm²	*Gyakoriság*	*Szilárdságok, kg/cm²*	*Gyakoriság*
141 – 160	1	221 – 240	3
161 – 180	1	241 – 260	2
181 – 200	2	261 – 280	2
201 – 220	1	281 – 300	2
221 – 240	1	301 – 320	5
241 – 260	2	321 – 340	1
261 – 280	4	341 – 260	1
281 – 300	4	361 –n 380	1
301 – 320	3	összesen	17
321 – 340	2		
341 – 360	1		
361 – 380	1		
összesen	23		
Átlagos nyomószilárdság, kg/cm²:	270,0	*Átlagos nyomószilárdság, kg/cm²:*	286,6
Szórás, kg/cm²:	56,4	*Szórás, kg/cm²:*	40,8
Variációs tényező, %:	20,9	*Variációs tényező, %:*	14,2

6. táblázat: 270 kg/m³ 500-as cementet tartalmazó, I. szemszerkezetű adalékanyaggal, plasztikus konzisztenciával (v/c = 0,5 – 0,6), +15 °C feletti hőmérsékleten készített betonok szilárdsága 28 napos korban (a 89. sz. Miniszteri Utasítás szerinti szilárdság: 210 kg/cm²)

1952. évi vizsgálatok		*1953. I. félévi vizsgálatok*	
Szilárdságok, kg/cm²	*Gyakoriság*	*Szilárdságok, kg/cm²*	*Gyakoriság*
141 – 160	2	161 – 180	1
161 – 180	1	181 – 200	1
181 – 200	3	201 – 220	3
201 – 220	4	221 – 240	6
221 – 240	14	241 – 260	3
241 – 260	9	261 – 280	1
261 – 280	2	281 – 300	1
281 – 300	2	301 – 320	2
301 – 320	1	321 – 340	1
321 – 340	1	összesen	19
341 – 360	1		
361 – 380	1		
381 – 400	1		
401 – 420	1		
421 - 440	1		
összesen	44		
Átlagos nyomószilárdság, kg/cm²:	270,0	*Átlagos nyomószilárdság, kg/cm²:*	286,6
Szórás, kg/cm²:	56,4	*Szórás, kg/cm²:*	40,8
Variációs tényező, %:	20,9	*Variációs tényező, %:*	14,2

7. táblázat: 270 kg/m³ 500-as cementet tartalmazó, II. szemszerkezetű adalékanyaggal, földnedves konzisztenciával (v/c = 0,5 – 0,6), +15 °C feletti hőmérsékleten készített betonok szilárdsága 28 napos korban (a 89. sz. Miniszteri Utasítás szerinti szilárdság: 200 kg/cm²)

1952. évi vizsgálatok		*1953. I. félévi vizsgálatok*	
Szilárdságok, kg/cm²	*Gyakoriság*	*Szilárdságok, kg/cm²*	*Gyakoriság*
61 – 160	1	121 – 140	2
81 – 180	1	141 – 160	2
101 – 200	1	161 – 180	3
121 – 220	2	181 – 200	6
141 – 240	2	201 – 220	9
161 – 260	3	221 – 240	10
181 – 280	6	241 – 260	9
201 – 300	15	261 – 280	6
221 – 320	8	281 – 300	4
241 – 340	2	301 – 320	3
261 – 360	1	321 – 340	1
281 – 380	1	341 – 360	2
301 – 320	1	361 - 380	2
321 – 340	2	összesen	59
341 – 360	1		
361 – 380	1		
összesen	48		
Átlagos nyomószilárdság, kg/cm²:	212,1	*Átlagos nyomószilárdság, kg/cm²:*	239,5
Szórás, kg/cm²:	59,8	*Szórás, kg/cm²:*	54,6
Variációs tényező, %:	28,2	*Variációs tényező, %:*	22,8

8. táblázat: 270 kg/m³ 500-as cementet tartalmazó, II. szemszerkezetű adalékanyaggal, plasztikus konzisztenciával (v/c = 0,6 – 0,7), +15 °C feletti hőmérsékleten készített betonok szilárdsága 28 napos korban (a 89. sz. Miniszteri Utasítás szerinti szilárdság: 180 kg/cm²)

1952. évi vizsgálatok		*1953. I. félévi vizsgálatok*	
Szilárdságok, kg/cm²	*Gyakoriság*	*Szilárdságok, kg/cm²*	*Gyakoriság*
61 – 80	2	121 – 140	2
81 – 100	1	141 – 160	5
101 – 120	3	161 – 180	12
121 – 140	8	181 – 200	20
141 – 160	7	201 – 220	19
161 – 180	19	221 – 240	8
181 – 200	30	241 – 260	3
201 – 220	6	261 – 280	2
221 – 240	4	281 – 300	1
241 – 260	2	301 – 320	2
261 – 280	1	összesen	74
281 – 300	1		
301 – 320	1		
321 – 340	1		
összesen	86		
Átlagos nyomószilárdság, kg/cm²:	179,8	*Átlagos nyomószilárdság, kg/cm²:*	201,1
Szórás, kg/cm²:	43,6	*Szórás, kg/cm²:*	35,6
Variációs tényező, %:	24,3	*Variációs tényező, %:*	17,7

3. Az eredmények értékelése

A megadott értékek az egyes vizsgálatok átlagos szilárdságát jelentik. A betonösszetétel adatait a megbízólevelekből vettük át. A próbatesteket a közölt készítési időponttól számítva 28 napos korban vizsgáltuk. Ugyancsak a megbízólevelek szerint a próbatesteket rendszeres locsolással utókezelték, a környezeti hőmérséklet +15 °C fölött volt. A táblázatokban megadtuk a szilárdsági eredmények átlagértékét (számtani közép), szórását (négyzetes középeltérés) és a szórásnak az átlagos szilárdság százalékában kifejezett értékét (variációs tényező), valamint a 89. sz. Miniszteri Utasítás szerint a betonösszetételnek értelemszerűen megfelelő szilárdsági előírásokat is.

Feltűnő, hogy a kapott szilárdsági eredmények a 89. sz. Miniszteri Utasítás által előírt nyomószilárdsági értékektől inkább felfelé, mint lefelé térnek el.

Az 1.-8. táblázatokban csak azokat az adatokat dolgoztuk fel, amelyeknél a közölt víz/cement tényező és a konzisztencia nem volt egymással nyilvánvaló ellentmondásban. E megjegyzésünkkel kapcsolatban fel kell hívni a figyelmet arra a tényre, hogy a betonkeverékek konzisztenciáját építkezéseinknél majdnem kivétel nélkül csak szemlélettel, sokszor a szakértelem teljes hiányával állapítják meg. Ezért fordulhatnak elő nem is ritkán olyan esetek, hogy pl. 270 kg/m^3 500-as tatai cementadagolású, I. szemszerkezetű, tehát aránylag kis vízigényű adalékanyaggal készített betonkeveréket földnedves konzisztenciájúnak jelöl a megbízó, ugyanakkor víz/cement tényezőként 1,2 értéket közöl. Ez természetesen azt is jelentheti, hogy a beton nem a közölt összetétellel (cementadagolás, szemszerkezet stb.) készült.

Ezek a tények nemcsak az eredmények kiértékelését teszik lehetetlenné, hanem felhívják a figyelmet arra, hogy a műszaki és a gazdasági szempontból helyes, céltudatos betonkészítés terén még igen nagy hiányosságok mutatkoznak. Ennek oka az építkezéseken több esetben tapasztalható felületesség és szakszerűtlenség. Ezt bizonyítja a 9. táblázat is, amely a laboratóriumunk által vizsgált betonkeverékek tényleges nyomószilárdságát a költségvetésben előírt szilárdsággal hasonlítja össze.

9. táblázat: Az előírt szilárdság és a tényleges szilárdság összefüggése

Előírt szilárdság kg/cm^2	*1952.év*				*1953. I. félév*			
	A költségvetési előírásban megadott szilárdsághoz képest							
	kisebb	*nagyobb*	*megfelelő*	*összesen*	*kisebb*	*nagyobb*	*megfelelő*	*összesen*
50	3	8	4	15	4	15	3	22
70	1	-	-	1	-	5	3	8
100	2	-	-	2	4	1	1	6
140	16	55	32	103	39	123	79	241
200	6	8	7	21	34	50	31	115
220	21	18	29	68	17	6	6	29
280	-	-	3	3	5	6	6	17
300	1	-	-	1	9	6	16	31
400	2	2	1	5	1	2	2	5
Összes	52	91	76	219	113	214	147	474
%	23,8	41,5	34,7	100	23,9	45,1	31,0	100
Egyéb okok miatt nem értékelhető eredmények: *1952:* 220 db 17,8 % *1953.I.:* 178 db 16,1 %								
Az adatközlés hiánytalan, a szilárdság jó: 312 db 25,4 % 489 db 44,2 %								
Összesen: 1232 db 100 % 1105 db 100 %								

A rendelkezésre álló adatok szerint mind az 1952. évben, mind az 1953. I. félévben végzett betonvizsgálatok közül a megbízólevélben feltüntetett

- megkívánt betonszilárdságnál kisebb szilárdságú betonkeveréket az esetek 25 %-ában,
- megkívánt szilárdságnak megfelelő betonkeveréket az esetek 33 %-ában,
- előírt szilárdságnál nagyobb szilárdságú betonkeveréket az esetek 43 %-ában

kaptunk, vagyis az építkezések általunk vizsgált betonanyaga csak egyharmad mennyiségben volt a költségvetési kiírás szerint műszaki é gazdaságossági szempontból egyaránt megfelelő. A betonvizsgálatok során kapott szilárdsági eredményeket akkor tekintettük megfelelőnek, ha a 10. táblázatban feltüntetett határértékek közé estek. A vizsgálatok alapján sajnos azt kell mondanunk, hogy építkezéseinknél 1953. I. félévben az 1952. évhez képest nem mutatkozott fejlődés. Azt hisszük, nem kell külön hangsúlyozni, hogy ha a betonszilárdság az előírt minimális értéket nem éri el, akkor ez forint-összegben ki sem fejezhető károk okozója lehet. Nem szabad azonban szó nélkül hagyni a másik végletet sem, amikor is a szilárdság a szükségesnél feleslegesen nagyobb.

10. táblázat: Előírt betonminőségek

Előírt beton-minőség	*Alsó határ, kg/cm²*	*Felső határ, kg/cm²*
B50	40	65
B70	55	90
B100	80	130
B140	120	185
B200	170	260
B220	185	285
B280	250	360
B300	270	390
B400	360	520

A 9. táblázat adataiból kiszámítottuk azt, hogy a tervszerűtlen betonkészítés milyen megengedhetetlen cementpazarlást okozott. Az összegszerű kiértékeléshez a 89. sz. Miniszteri Utasítás 6.I.8. pontjának azt az előírását vettük figyelembe, amely szerint ellenőrző vizsgálatot általában minden 100 m^3 bedolgozott betonmennyiség után kell végeztetni. Ha feltesszük, hogy a laboratóriumunkba beérkezett minden vizsgálati megbízás 100 m^3 betonmennyiség ellenőrzésére szolgált – ami a valóságot valószínűleg nem haladja meg, hiszen nem egy alkalommal nagyobb építkezésekről is csak egyetlen esetben érkezett vizsgálati megbízás -, akkor 1952. évben a beérkezett 1232 megbízás 123200 m^3 betonanyagot képviselt. E mennyiségnek 43 %-a volt nagyobb szilárdságú beton, mint amekkora szilárdság a betonra elő volt írva, vagyis 53000 m^3 betont készítettek a szükségesnél nagyobb cementtartalommal.

A leggyakrabban előforduló B140 betonminőséget a 89. sz. Miniszteri Utasítás előírásai szerint II. szemszerkezetű adalékanyag és plasztikus konzisztencia esetén 240 kg/m^3 500_as cement adagolásával lehet elérni. Az előírt B140 beton helyett a fentiek szerint 43 %-ban előállított feleslegesen jobb minőségű betonanyag átlagszilárdsága 1952. évben 244 kg/cm^2 volt, ehhez a szilárdsághoz ugyancsak II. szemszerkezetű adalékanyag és plasztikus konzisztencia esetén kb. 380 kg/m^3 500-as cementadagolás szükséges. A feleslegesen jobb betonminőségnél jelentkező cementtöbblet B140 betonok esetén tehát m^3-enként 140 kg, ami általánosítva a betonvizsgálataink által képviselt összes betonmennyiségre:

$$53000 \times 140 = 74100 \text{ mázsa}$$

500-as cementet tesz ki. Ez a számítás tehát arra az eredményre vezet, hogy szakszerű betonkészítés mellett csak az ÉTI Minősítő Laboratórium által vizsgált betonkészítmények esetén óvatos közelítéssel is csupán 1952. évben kb. 74000 mázsa 500-as cementtel egyenértékű cementmennyiség lett volna megtakarítható. Mivel az ÉTI laboratóriuma az Építésügyi Minisztériumhoz tartozó építőipari vállalatok építkezéseinek csak egy hányadát – becslés szerint 1/5-ét – ellenőrzi, így országos viszonylatban a feleslegesen felhasznált cementmennyiség többszáz ezer mázsára, ennek értéke sok millió forintra tehető.

11. táblázat: A próbatestek készítésének és beküldésének a módja

Megnevezés	*1952. év*		*1953. I. félév*	
	db	*%*	*db*	*%*
Hiányos adatközlés miatt kiértékelhetetlen eredmények	297	24,1	238	21,6
Kevés (1-2 db) próbatest érkezett a vizsgálatra	221	17,9	103	9,3
A vizsgálati eredmények egy mintán belül megengedhetetlen módon eltértek (valószínűleg nem keveredett el a cement)	182	14,8	97	8,8
Adatközlés hiánytalan, a szilárdság megfelelő	312	23,4	489	44,2
Egyéb vizsgálatok	220	17,8	178	16,3
Összesen	1232	100	1105	100

A 11. táblázatból kitűnik az, hogy a próbatestek készítésének és beküldésének a módja mennyiben felelt meg, helyesebben mennyire nem felelt meg a 89. sz. Miniszteri Utasításban foglaltaknak, továbbá, hogy a megbízó által közölt adatok mennyire voltak megbízhatóak. E táblázat szerint pl. kiértékelhető és a megbízólevélben közölt adatoknak (betonösszetétel, utókezelés, tárolási hőmérséklet stb.) ellent nem mondó betont

1952. évben 25,4 %-ban
1953. I.félévben 44,2 %-ban

vizsgáltunk. Ezzel szemben akár a hiányos, akár a valótlan adatközlés, akár a helytelen beton- vagy próbatestkészítés miatt meg nem felelő, illetve kiértékelhetetlen betonvizsgálatok száma

1952. évben 74,6 %
1953. I.félévben 55,8 %

volt. Legjelentősebb mennyiségben a hiányos adatközlés miatt kiértékelhetetlen vizsgálatok fordultak elő, mégpedig

1952. évben 24,1 % és 1953. I. félévben 21,6 %

A 11. táblázat szerint tehát 1953. évben a vizsgálatok kiértékelhetősége terén jelentős volt a javulás. Ez jórészt annak tulajdonítható, hogy az észlelt szabálytalanságokra és rendellenességekre a vizsgálati bizonyítványainkban mindig nyomatékosan felhívtuk a megbízó figyelmét.

Érdekes számadat a vizsgálati eredményeknek a közölt készítési adatokhoz (cementtartalom, adalékanyag, konzisztencia, kor stb.) viszonyított alacsony vagy magas volta. A 12. táblázat egyes oszlopai az alább részletezett számértékeket tartalmazzák.

12. táblázat: Készítési adatok és vizsgálati eredmények összevetése

1.		*2.*	*3.*	*4.*	*5.*	*6.*	*7.*
1952	300, I, fn	B280	2,75	67,25	30,0	308-367	13,3
1953.I.			7,00	69,20	23,8	291-359	14,1
1952	300, I pl	B240	5,1	86,9	8,0	241-283	12,3
1953.I			11,0	84,5	4,5	229-277	13,5
1952	300, II, fn	B220	9,8	81,4	8,8	209-259	16,3
1953.I			10,2	49,6	40,2	223-313	24,9
1952	300, II, pl	B190	11,4	78,6	10,0	179-228	18,0
1953.I			2,4	67,6	30,0	207-236	15,5
1952	évi átlag		7,3	78,5	14,2		
1953.I	félévi átlag		7,8	67,6	24,6		

Jelmagyarázat:

1. Ez az oszlop a vizsgálat idejét, valamint a keverési arányokat jelzi. Tehát pl. „1952, 300, I, fn" rövidítés jelentése: 1952. évi vizsgálatokból származó, 300 kg/m^3 500-as cementet, I. szemszerkezetű adalékanyagot tartalmazó, földnedves konzisztenciával készített betonkeverék.
2. A megbízólevélben közölt készítési körülményeknek (cementtartalom, adalékanyag szemszerkezet, konzisztencia stb.) a 89. sz. Miniszteri Utasítás szerint megfelelő 28 napos kockaszilárdság, kg/cm^2.
3. A 89. sz. Miniszteri Utasítás szerint megengedett betonszilárdságnál kisebb szilárdságú keverékek előfordulásának százaléka a 10. táblázat értékei alapján.
4. A 89. sz. Miniszteri Utasítás szerint megengedett betonszilárdságnak megfelelő szilárdságú keverékek előfordulásának százaléka a 10. táblázat értékei alapján.
5. A 89. sz. Miniszteri Utasítás szerint megengedett betonszilárdságnál nagyobb szilárdságú keverékek előfordulásának százaléka a 10. táblázat értékei alapján.
6. Az oszlopban ama szilárdsági határértékeket adjuk meg, amelyek közé az egyes vizsgálatok nyomószilárdsága – matematikai-statisztikai alapon számítva – 50 % valószínűséggel esik.
7. A betonvizsgálatok szórásának (négyzetes középeltérés) százaléka az átlagos nyomószilárdsághoz viszonyítva.

A 12. táblázat szerint 1952. évben a beérkezett betonkeverékeknek átlagosan 7,3 %-a a szokásosnál alacsonyabb (nem az előírt betonszilárdsághoz, hanem a közölt betonösszetételhez képest), 14,2 %-a magasabb szilárdsági eredményt adott. Ezzel szemben 1953. I. félévben 7,8 % volt szokatlanul kicsi, míg 24,6 % szokatlanul nagy szilárdságú.

Ezek a számok azt mutatják, hogy a beton kockaszilárdsága az esetek 70-80 %-ában elfogadható volt a beton összetételéhez képest. A 9. táblázat adatai szerint azonban a vizsgált betonoknak csak egyharmad része felelt meg a költségvetési kiírásnak, amiből viszont az következik, hogy igen sok esetben az alkalmazott betonösszetétel a megkívánt betonszilárdsággal nincs összhangban.

Javaslatok

1. A betonkészítés terén mutatkozó tervszerűtlenség megszüntetésének döntő feltétele az, hogy az építéshelyi anyagvizsgálók, az építési ellenőrök és az építésvezetők elméletileg és gyakorlatilag tisztában legyenek a műszaki és gazdasági szempontokból egyaránt helyes betonozás részleteivel. Éppen ezért véleményünk szerint már az egyetemi oktatásban nagyobb teret kellene szentelni a céltudatos betonkészítésnek. Ettől függetlenül azonban rendszeresen kellene megfelelő tanfolyamokat szervezni az építésvezetők és építési ellenőrök, továbbá az építéshelyi anyagvizsgálók képzésére és továbbképzésére. Ugyancsak fontosnak tartjuk az építéshelyi műszaki felsőbb és középkáderek ilyen tárgyú szakirodalommal való ellátását.
2. A betonkeverékek konzisztenciájának szabatosabb megállapítására (a B140 és ennél jobb betonminőségek esetén) szükségesnek tartjuk kötelezően előírni legalább a roskadás és a terülés rendszeres mérését, A friss betonkeverék konzisztenciájának állandóellenőrzése az építéshelyi laboratóriumok feladata.

3. Szükségesnek tartjuk annak előírását is, hogy a B140 és ennél jobb betonminőségek esetén minden 200 m^3-t meghaladó mennyiségű betonmunka megkezdése előtt próbakeveréssel kell megállapítani az építéshely rendelkezésére álló anyagoknak megfelelő leggazdaságosabb keverési arányt. Kisebb betonmennyiség, vagy kisebb szilárdság esetén a 89. sz. Miniszteri Utasításnak a betonösszetételre vonatkozó előírásait kell betartani.

4. Minden 100 m^3-t meghaladó mennyiségű betonmunka esetén, ha az előírt betonminőség B 140 vagy ennél jobb, a friss beton keverési arányát az építéshelyi laboratórium állandóan és folyamatosan ellenőrizze, az esetlegesen szükséges változtatásokra haladéktalanul tegyen javaslatot.

5. Mivel az a másfél év, amelyet kiértékelésünk felölel, azt a következtetést adja, hogy sem a helyszíni betonkészítés, sem az építéshelyi laboratóriumok munkája nem megfelelő, szükséges az építkezések és az építéshelyi laboratóriumok ellenőrzésének rendszeresített bevezetése. Ezért akár az ÉTI Minősítő Laboratóriumot, akár más megfelelő anyagvizsgáló laboratóriumot olyan eszközökkel (pl. mintavételi teherautó) kell ellátni, amelyek lehetővé teszik azt, hogy állandó helyszíni kiszállással és mintavétellel ellenőrizhesse a beton és más építőanyagok minőségét. A helyszíni kiszállás módot adhat az építéshelyi laboratóriumok fokozott és állandó ellenőrzésére is s ezzel kapcsolatban a továbbképzést is meg lehet oldani.

6. A vizsgálati eredményeink kiértékelése csak a felhasználás anyagpazarlására mutat rá, de nem nyújt képet az építőanyagok tárolásának, szállításának stb. hiányosságaira. Az utóbbi időben azonban az elmúlt évhez képest sokszoros ama megbízások száma, amely azért érkezett laboratóriumunkba, mert az építőanyagok szállítás közben mentek tönkre. Szükséges lenne ezért megindítani a „takarékoskodj az építőanyagokkal" mozgalmat. A mozgalom kiterjeszthető lenne az építőanyagipar, a kereskedelem, a közlekedés és az építőipar minden dolgozójára, akik építőanyagok gyártásával, szállításával, tárolásával és felhasználásával foglalkoznak. Célkitűzésében elsődleges fontosságúnak kellene megjelölni az anyagok helyes kezelését és felhasználását.

Építőanyag, 1954. 9. pp. 307-312

Az ÉTI 1953. évben végzett cementvizsgálatainak kiértékelése

POPOVICS SÁNDOR és UJHELYI JÁNOS

1. Bevezetés

Az Építéstudományi Intézet Minősítő Laboratóriumába 1953. évben 270 db cementvizsgálati megbízás érkezett. A cementvizsgálati megbízások száma – hasonlóan egyéb építőanyagokkal kapcsolatos vizsgálati megbízásokhoz – 1952. évhez képest jelentős mértékben megnövekedett. A cementvizsgálatok szám szerinti – mintegy 14 %-os – növekedése azonban nem fejezi ki megfelelően a vizsgáló laboratórium munkájában jelentkező emelkedést, mert 1952. évben a szabvány csak földnedves cementhabarccsal végzett vizsgálatokat írt elő, ezzel szemben 1953. március 1.-től az előírások szerint földnedves és plasztikus cementhabarccsal s ezen kívül több esetben betonkeverékkel is kellett a cement minősítésére szilárdságvizsgálatokat végezni.

Az alábbiakban a földnedves és a plasztikus cementhabarccsal végzett szabványos vizsgálatok kiértékelt eredményeit egybevetettük egymással. Összehasonlítottuk továbbá az 1953. évben végzett cementvizsgálatok eredményeit az 1952. évben végzett cementvizsgálatok eredményeivel is annak eldöntése céljából, hogy 1953. évben változott-e a hazai cementjeink minősége. Meg kell jegyezni, hogy az ÉTI Minősítő Laboratóriumába beküldött cementek egy része olyan volt, amelyeknek minősége az építéshelyen gyanúsnak tetszett. Ezért az alább közölt eredmények a hazai cementipar egész termelésének tényleges minőségénél valószínűleg rosszabb képet mutat.

2. Földnedves cementhabarccsal végzett vizsgálatok eredményei

a) A földnedves habarcsból készített próbatestekkel az MNOSZ 523-53 5. pontja szerint végeztük a cementvizsgálatokat. Vagyis a szilárdságvizsgálatok céljára készített kocka-, illetve piskóta-alak próbatestek összetétele a következő:

1 súlyrész cement
3 súlyrész szabványhomok és
az úgynevezett márványerezettség eléréséhez szükséges mennyiségű víz.

A próbatestek fenti összetétele az előző évhez képest annyiban változott, hogy 1952. évben a földnedves cementhabarcs próbatesteket minden esetben a száraz keverék súlyára vonatkoztatott 7,5 % vízmennyiséggel készítettük, ezzel szemben 1953. március 1.-től kezdődően a márványerezés elérése céljából a készítési víz – a cementek különböző vízigényétől függően – 7,5-9,5 % között változott.

E vizsgálatok eredményei alapján cementfajtánként kiszámítottuk az átlagos nyomó- és húzószilárdságokat 2, 7 és 28 napos korban, a vizsgálatok során kapott legkisebb és legnagyobb értékeket, a szórásokat (négyzetes középeltérés) és a szórásoknak az átlagos szilárdsági értékekhez viszonyított százalékát (változási együttható). Ilyen módon négy homogén és öt heterogén, összesen tehát kilenc hazai cementfajta vizsgálati eredményeit értékeltük ki.

Az eredményeket az 1. táblázatban közöljük. A táblázatban feltűnő a hejőcsabai 300-as kohósalak portlandcement nyomó- és húzószilárdságában egyaránt mutatkozó nagy szórás.

b) A vizsgálat alá vett cementfajták közül azoknál, amelyeknél kellő számú adat állt rendelkezésünkre, kiszámítottuk a 28 napos nyomószilárdságok gyakorisági eloszlásait is. E szerint

a tatai 600-as és beremendi 500-as portlandcementeknél 15-20 %,
a lábatlani S54 jelű 500-as portlandcementnél, a tatai 500-as és a selypi 400-as traszportlandcementnél, valamint a bélapátfalvi 500-as kohósalakportlandcementnél 3-6 %

a valószínűsége a szabvány által előírt minimális 28 napos nyomószilárdságnál kisebb szilárdságú cement előfordulásának.

1. táblázat

Az 1953. évi földnedves cementhabarcsvizsgálatok nyomó- és húzószilárdsági eredményei

Cementfajta	Vizsgálat száma, db	Kor nap	Nyomószilárdság átlag kg/cm²	Nyomószilárdság legkisebb és legnagyobb értékek kg/cm²	Nyomószilárdság szórás kg/cm²	Nyomószilárdság szórás %	Húzószilárdság átlag kg/cm²	Húzószilárdság legkisebb és legnagyobb értékek kg/cm²	Húzószilárdság szórás kg/cm²	Húzószilárdság szórás %
Tatai 600-as portlandcement	24	2	337,5	119—452	85,0	25,2	27,1	9,3 -35,1	6,34	25,2
	28	7	525,0	419—601	43,9	8,4	37,7	30,4 44,2	3,09	8,2
	28	28	630,2	565—707	32,6	5,2	41,9	36,0 48,1	2,84	6,8
Beremendi 500-as portlandcement	8	2	268,6	203—381	67,1	25,1	22,2	15,1 31,3	4,60	20,7
	9	7	442,9	372—515	54,1	12,2	32,9	27,7 -37,9	3,60	10,9
	8	28	543,5	440—607	57,8	10,8	38,8	31,4 -43,3	4,48	11,5
Lábatlani 854 jelű 500-as portlandcement	4	2	208,3	159—272	49,4	23,6	19,0	14,6 24,9	4,91	25,8
	8	7	369,4	265—468	57,4	16,0	30,2	26,1 - 36,9	3,44	11,4
	8	28	540,4	500—575	26,9	5,0	40,7	35,6 —44,9	3,13	7,7
Lábatlani 500-as portlandcement	10	2	225,8	182—368	61,5	27,2	22,6	16,0 - 29,8	4,93	21,8
	18	7	440,1	350—558	54,9	12,4	32,4	27,3 37,0	3,12	9,6
	18	28	566,1	459—703	50,6	8,9	40,7	36,9 46,4	4,43	10,9
Tatai 500-as traszportlandcement	53	7	431,7	295—526	43,0	10,0	31,9	18,0 —39,1	4,68	14,6
	54	28	559,9	475—638	36,2	6,5	41,4	31,5—46,3	3,21	7,8
Bélapátfalvi 500-as kohósalakportlandcement	47	7	396,1	194—548	73,2	18,5	30,2	12,6 - 38,4	4,99	16,5
	45	28	572,1	474—705	49,5	8,7	40,7	32,2 48,7	4,25	10,4
Lábatlani 400-as traszportlandcement	6	7	360,8	326—414	33,0	9,2	28,6	23,1—33,4	3,49	12,2
	6	28	508,2	454—607	58,9	11,6	40,9	33,8—44,8	4,06	9,9
Selypi 400-as traszportlandcement	12	7	344,6	228—433	69,9	20,2	23,7	14,1 —34,0	5,21	22,0
	13	28	537,7	448—682	73,9	13,7	39,3	32,1 50,4	5,50	14,0
Hejőcsabai 300-as kohósalakportlandcement	11	7	171,1	91—361	97,0	56,6	15,8	8,0—30,8	8,00	50,6
	11	28	313,1	177—563	118,0	37,7	29,7	19,9—39,1	6,50	21,8

3. Plasztikus cementhabarccsal végzett vizsgálatok eredményei

a) Az MNOSZ 523-53 a laboratóriumok számára előírja a cementek plasztikus habarcsból készült próbatestekkel történő – egyébként jelenleg még csak ajánlott – szilárdságvizsgálatát is. Ezeket a vizsgálatokat a szabvány 6.4. pontja szerint végeztük azzal a különbséggel, hogy a kellő felszerelés hiánya folytán a próbatestek készítéséhez a szabványostól eltérő formákat alkalmaztunk. Ez a körülmény a vizsgálati eredményeink számértékét természetesen befolyásolta, de valamennyit gyakorlatilag azonos mértékben, úgyhogy az eredmények egymáshoz képest megbízhatóknak tekinthetők. Amint összehasonlító kísérletsorozattal megállapítottuk, az általunk használt formákban készült plasztikus habarcstestek nyomószilárdság mintegy 20 %-kal, hajlítószilárdsága mintegy 10 %-kal kisebb, mint a szabványos formában készült ugyanolyan cementhabarcsoké.

A szabvány szerint a próbatestek összetétele a következő:

1 súlyrész cement,
1 súlyrész finomhomok,
2 súlyrész szabványhomok és
0,6 súlyrész víz

A szabvány előírja azt is, hogy ha a 0,6 súlyrész – egy keverésnél tehát 270 gr. – vízzel készült cementhabarcs terülése a szabványos rázóasztalon mérve 160-200 mm határokon kívül esik, akkor a keverést olyan értelemszerűen megváltoztatott vízmennyiséggel kell megismételni, amelynél a terülés 170-190 mm között van. A 2. táblázatban közöljük mind a 270 gr. Vízzel készült (0,6 víz/cement tényezőjű), mind a 170-190 mm terülésű (változó víz/cement tényezőjű) cementhabarcson mért nyomó- és húzószilárdsági eredményeket.

2. táblázat

Az 1953. évi plasztikus cementhabaresvizsgálatok nyomó- és hajlítószilárdsági eredményei

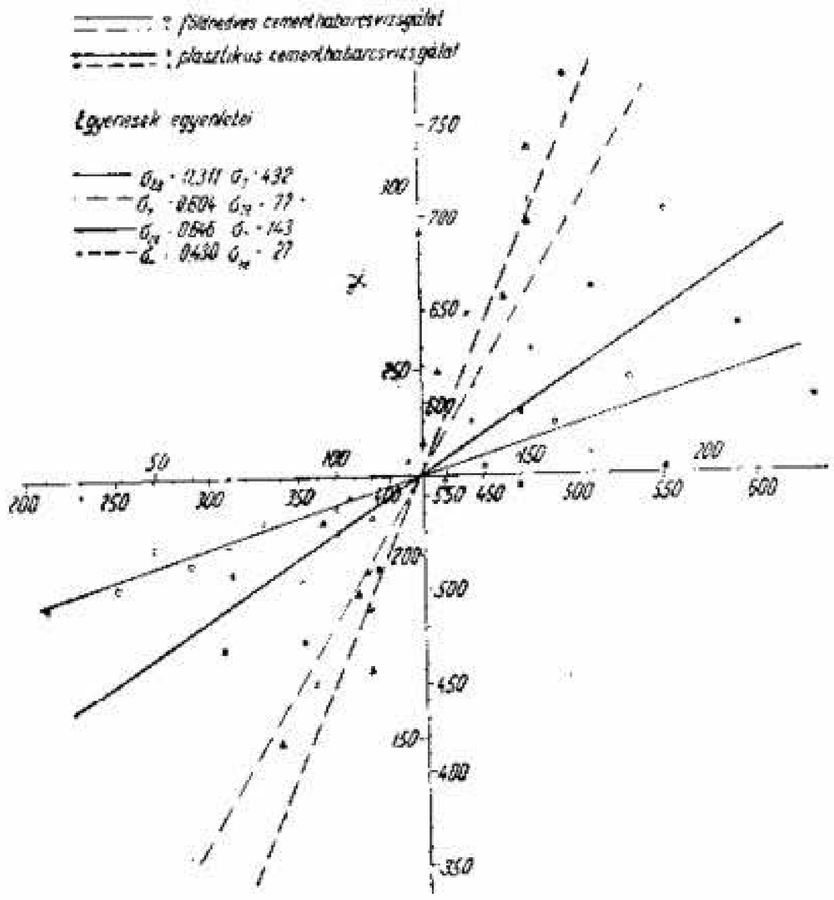
Cementfajta	Vizsgálatok száma	Kor nap	Átlagos terülés cm	Nyomószilárdság átlag kg/cm²	Nyomószilárdság legkisebb és legnagyobb értékek kg/cm²	Nyomószilárdság szórás kg/cm²	Nyomószilárdság szórás %	Hajlítószilárdság átlag kg/cm²	Hajlítószilárdság legkisebb és legnagyobb értékek kg/cm²	Hajlítószilárdság szórás kg/cm²	Hajlítószilárdság szórás %
Cementhabaresvizsgálat 270 gr készítési vízzel											
Tatai 600-as portlandcement	17	2	17,1	85,9	24—134	35,4	41,1	26,1	8,1—42,7	10,7	41,1
	22	7		188,6	105—281	44,3	23,5	49,8	32,6—69,0	8,7	17,5
	23	28		325,6	246—397	37,3	11,4	71,7	58,1—82,5	6,4	8,9
Beremendi 500-as portlandcement	4	2	17,4	101,3	86—117	×	×	29,4	26,1—31,4	×	×
	4	7		159,0	151—169	×	×	45,7	39,1—51,4	×	×
	4	28		301,3	292—312	×	×	64,9	51,2—71,0	×	×
Lábatlani S 54 jelű 500-as portlandcement		2	18,3	79,0				26,0			
		7		148,0				39,3			
		28		307,3				64,0			
Lábatlani 500-as portlandcement	3	2	18,3	77,3	71—83	×	×	23,2	20,0—25,1	×	×
	3	7		151,3	139—171	×	×	43,2	41,0—45,4	×	×
	3	28		257,0	179—335	×	×	66,9	62,4—73,1	×	×
Tatai 500-as traszportlandcement	31	7	15,3	134,1	67—259	40,9	30,4	36,3	20,1—57,0	8,0	22,4
	31	28		230,4	166—293	34,8	15,1	58,7	45,3—70,3	5,9	10,0
Bélapátfalvi 500-as kohósalak portlandcement	13	7	17,9	131,7	85—242	38,6	29,3	36,6	24,9—61,1	9,7	26,5
	13	28		205,0	170—263	27,2	13,3	56,3	42,3—71,8	8,6	15,3
Lábatlani 400-as traszportlandcement	5	7	14,6	86,2	76—102	×	×	25,6	23,4—30,4	×	×
	5	28		144,8	123—201	×	×	51,1	42,9—58,3	×	×
Selypi 400-as traszportlandcement	6	7	11,7	94,7	68—141	27,3	28,9	27,4	23,3—32,0	3,5	12,9
	6	28		184,2	165—210	20,0	10,8	53,2	45,7—63,6	6,5	12,1
Hejőcsabai 300-as kohósalakportlandcement	4	7	15,1	52,5	24—95	30,1	57,4	21,1	14,3—30,7	7,3	34,7
	5	28		128,0	92—198	43,6	34,1	41,0	32,1—55,4	8,7	21,2
Cementhabaresvizsgálat változó mennyiségű — terülés alapján meghatározott — készítési vízzel											
Tatai 600-as portlandcement	17	2	18,0	79,7	15—132	36,2	45,4	24,7	8,3—41,9	10,7	43,5
	21	7		173,2	105—281	47,6	27,5	46,3	30,8—69,0	10,1	21,8
	22	28		307,4	210—397	53,5	17,4	69,0	55,3—82,5	6,3	9,1
Beremendi 500-as portlandcement	270 g vízzel készítve a cementhabares a szabvány által előírt terülési határokon belül maradt										
Lábatlani S 54 jelű 500-as portlandcement	270 g vízzel készítve a cementhabares a szabvány által előírt terülési határokon belül maradt										
Lábatlani 500-as portlandcement	270 g vízzel készítve a cementhabares a szabvány által előírt terülési határokon belül maradt										
Tatai 500-as traszportlandcement	31	7	17,7	117,1	59—213	31,6	27,0	33,5	18,3—47,2	6,4	19,0
	31	28		214,1	150—277	39,1	18,2	56,6	45,3—67,7	5,9	10,3
Bélapátfalvi 500-as kohósalakportlandcement	270 g vízzel készítve a cementhabares a szabvány által előírt terülési határokon belül maradt										
Lábatlani 400-as traszportlandcement	5	7	17,3	69,8	62—77	6,8	9,7	26,3	20,1—40,8	8,4	31,9
	5	28		136,0	125—155	11,5	8,5	47,2	40,8—58,3	7,0	14,7
Selypi 400-as traszportlandcement	7	7	18,1	68,1	41—94	20,0	29,4	21,8	18,3—27,4	3,6	16,3
	6	28		148,5	120—176	19,3	13,0	43,7	34,4—59,3	9,4	21,6
Hejőcsabai 300-as kohósalakportlandcement	3	7	17,9	41,0	19—69	25,5	62,0	23,4	18,0—28,5	5,3	22,5
	4	28		94,5	63—129	8,9	9,4	35,1	22,2—49,5	11,3	32,4

× = A vizsgálat csekély száma miatt nem mértékadó.

A hejőcsabai cement egyenlőtlen minősége a plasztikus vizsgálati eredmények szórásában is kifejezésre jut.

b) Ugyancsak vizsgáltuk az 1953. évben vizsgálat alá vett összes 500-as cementnek a változó mennyiségű vízzel készült plasztikus cementhabarcsokon meghatározott 7 és 28 napos nyomószilárdságai közötti korrelatív összefüggést.

Az eredményeket az 1. ábra foglalja össze. Az ábrán a plasztikus cementhabarcsvizsgálatok 7 és 28 napos nyomószilárdságai közötti korrelatív összefüggést vastag vonallal tüntettük fel, mégpedig az ismert 7 napos nyomószilárdságokhoz tartozó várható 28 napos nyomószilárdságok egyenesét folytonos vonallal, az ismert 28 napos nyomószilárdságokhoz tartozó várható 7 napos szilárdságok egyenesét szaggatott vonallal.



1. ábra: Az 1953.évben vizsgált 500-as cementek 7 és 28 napos nyomószilárdságainak regressziós egyenesei a földnedves és a változó mennyiségű vízzel készült plasztikus cementhabarcsvizsgálatok alapján

4. Cementvizsgálatok betonkeverékkel

A betonkeverékekkel történő cementvizsgálat ugyancsak az MNOSZ 4702-53.A. szerint ajánlott cementvizsgálati módszer. A vizsgálat végrehajtását az MNOSZ 523-53 6.6. pontja írja elő.

3. táblázat: Az 1953.évi, betonkeverékekkel történő cementvizsgálatok nyomószilárdsági eredményei

Cementfajta	*	**	
		***	****
Tatai 600 portlandcement	5	264	223-285
Tatai 500 traszportlandcement	7	169	140-184
Hejőcsabai 300 kohósalak pc	4	75	52-97

* vizsgálatok száma
** nyomószilárdság, kg/cm^2
*** átlagos érték, kg/cm^2
**** legkisebb és legnagyobb értékek, kg/cm^2

E szerint a betonkészítéshez felhasznált adalékanyag a szabványban részletezett szemszerkezetű, 5,0-5,2 finomsági modulusú dunai homokos kavics, a betonkeverék konzisztenciája a MNOSZ 934 által előírt rázóasztalon mért 35-40 cm terülésű (0,55-0,6 víz/cement tényezőjű), cementtartalma pedig 270 kg/m^3 (1000 kg száraz adalékanyaghoz 135 kg cement) legyen. A próbatestek tárolása és utókezelése az MNOSZ 934 szerint történjék. A nyomószilárdságot 28 napos korban kell megvizsgálni. Laboratóriumunk ezt a vizsgálati módszert is alkalmazta, ha a megbízó megfelelő mennyiségű (50 kg) cementet küldött be vizsgálatra. E vizsgálatok átlagos nyomószilárdsági eredményeit a 3.táblázat tartalmazza.

A vizsgálati eredmények matematikai-statisztikai értékelését – az adatok csekély száma miatt – nem végeztük el.

5. Az 1952. és 1953. évi földnedves cementvizsgálatok összehasonlítása

Az 1953. évi cementvizsgálati eredmények (1. táblázat) összehasonlítása az 1952. évi cementvizsgálatainkkal* azt az eredményt adja, hogy a bélapátfalvi 500-as kohósalak portlandcementek kivételével a többi vizsgált cementfajta 28 napos nyomószilárdsága kismértékben ugyan, de csökkent. Ezzel szemben a húzószilárdság általában növekedett.

A számítások szerint megállapítható, hogy az 500-as szilárdsági osztályba tartozó cementek 28 napos nyomószilárdsági eredményeinek átlaga:

---

* részletesen : Popovics – Ujhelyi: *Az 1952. évben végzett cementvizsgálatok eredményeiről.* Építőanyag, 1953. 10.szám, 315. oldal

1952. évben közelítőleg 600 kg/cm^2,

1953. évben közelítőleg 560 kg/cm^2.

E szerint tehát 1953. évhez képest az összes 500-as cementek vizsgálati eredményei kb. 7 % nyomószilárdságcsökkenést mutatnak. Legjelentősebb ez a szilárdságcsökkenés a tatai 500-as cementnél.

A bélapátfalvi 500-as kohósalak portlandcement átlagszilárdsága ezzel szemben

1952. évben közelítőleg 575 kg/cm^2,

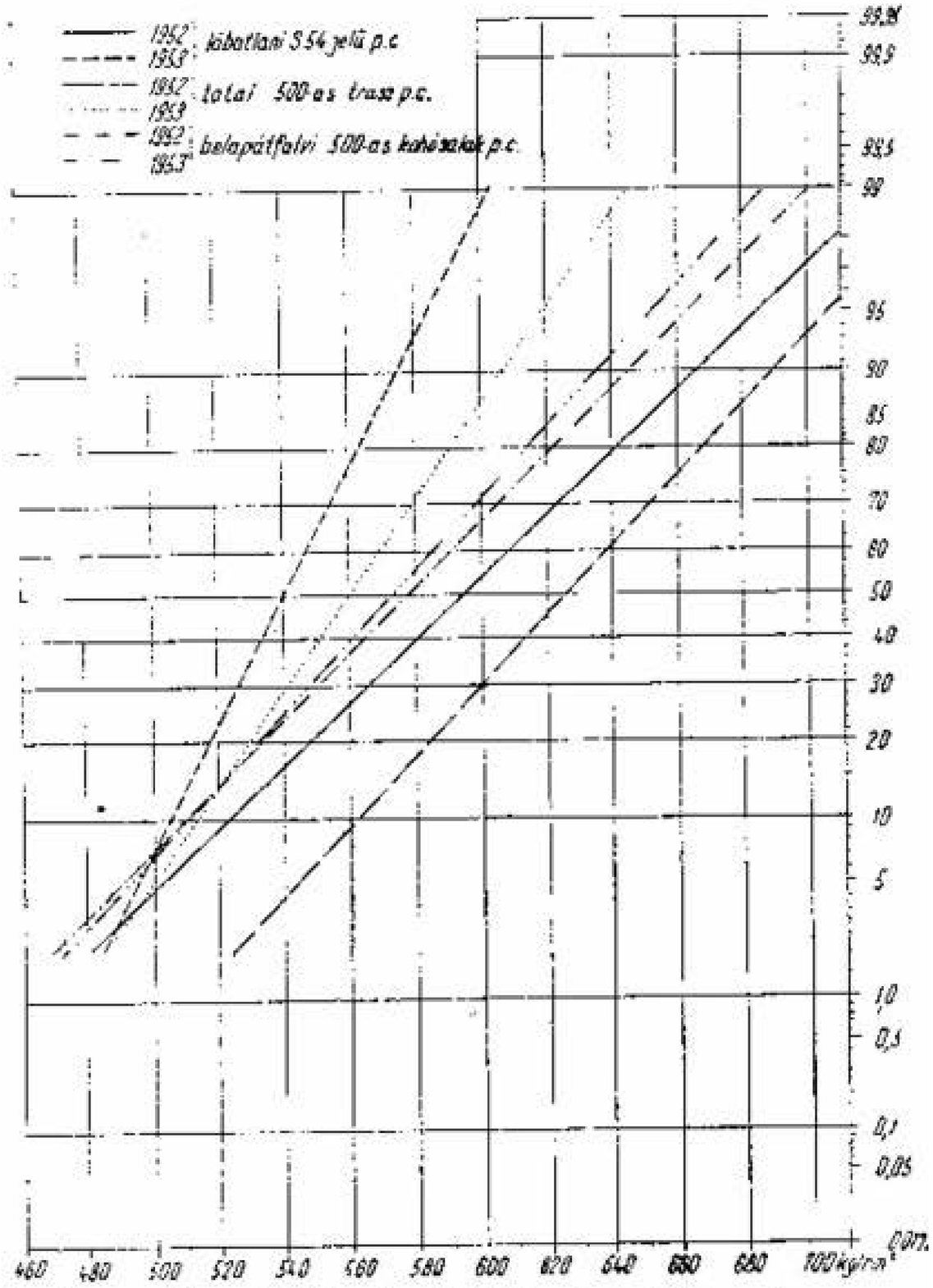
1953. évben közelítőleg 570 kg/cm^2

volt 28 napos korban, vagyis az eltérés jelentéktelen.

Az 1952. és 1953. évi lábatlani S54, tatai 500 és bélapátfalvi 500 cementvizsgálatok 28 napos nyomószilárdságainak kiegyenlített eloszlását a 2. ábrán tüntettük fel.

Az 1952. és 1953. évben vizsgált cementek húzószilárdságainak összehasonlításakor azt találtuk, hogy az 1953. évben vizsgált cementek 28 napos húzószilárdságának növekedése 1952. évhez képest az alábbi értékű volt:

lábatlani S54 cement	kb. 13 %
beremendi 500 cement	kb. 3 %
tatai 500 cement	kb. 6 %
bélapátfalvi 500 cement	kb. 10 %



2. ábra: Az 1952. és 1953. évi földnedves cementhabarcs vizsgálatok nyomószilárdsági eredményeinek kiegyenlített gyakorisági eloszlása

Egyedül a lábatlani 500-as portlandcementnél észleltünk kb. 2 % szilárdságcsökkenést. Az átlagok és a szórások alapján kimutatható, hogy az azonos márkájú cementek 1952. és 1953. évi 28 napos nyomó- és húzószilárdságvizsgálati eredményei közötti különbség – a bélapátfalvi 500 cement 28 napos nyomószilárdsága kivételével – matematikai szempontból olyan nagy, amely véletlen jellegűnek már nem tekinthető. A 4. táblázat „valószínűség" oszlopában fel is tüntettük annak a feltevésnek százalékos valószínűségét, hogy az egyes cementfajták 1952. és 1953. évi nyomó- és húzószilárdsági eredményei közötti különbség nem a cementek szilárdsága közötti tényleges eltérésnek, hanem a mintavétellel járó esetlegességnek tulajdonítható.

4. táblázat: Az 1952. és 1953. évi földnedves cementhabarcsvizsgálatok 28 napos szilárdsági eredményeinek összehasonlítása

Cementfajta	Vizsgálat éve	Átl. nyomószilárdság kg/cm²	Szórás kg/cm²	Vizsgálatok száma	Valószínűség %	Átlagos húzószilárdság kg/cm²	Szórás kg/cm²	Vizsgálatok száma	Valószínűség %
Lábatlani S54 jelű 500-as portlandcement	1952	595,0	55,9	20	0,049	36,0	3,44	20	0,049
	1953	540,4	26,9	8		40,7	3,13	8	
Tatai 500-as traszportlandcement	1952	627,0	50,1	62	<0,006	38,9	4,01	62	0,137
	1953	559,9	36,2	54		41.4	3,21	54	
Bélapátfalvi 500-as kohósalakportlandcement	1952	577,0	53,5	44	65,5	37,0	3,84	44	<0,006
	1953	572,1	49,5	45		40,7	4,25	45	

A 4. táblázat szerint a bélapátfalvi 500 kohósalak portlandcement 28 napos nyomószilárdságában észlelt eltérés jelentéktelen, a mintavétellel járó esetlegesség mellett beállónak minősíthető. A többi vizsgálat alá vont cementfajta nyomó- és húzószilárdságában, valamint a bélapátfalvi cement húzószilárdságában mutatkozó eltérést a matematikai-statisztika szempontjából ugyan igen jelentősnek kell tekinteni, az építőipar szempontjából azonban a mutatkozó különbség nem lényeges.

Összefoglalás

A földnedves cementhabarccsal történő szilárdságvizsgálatok alapján az 1953. évben gyártott cementek minősége az építőipar szempontjából azonosnak vehető az 1952. évi cementminőséggel. A cementek a szabvány előírásainak általában megfeleltek.

Az ajánlott jellegű plasztikus cementhabarccsal történő szilárdságvizsgálat, továbbá a betonkeverékkel történő cementminősítés nincsenek összhangban a földnedves habarccsal történő cementvizsgálat eredményeivel. Az ellentmondások számszerű kiértékelésére egy későbbi tanulmányban visszatérünk.

ÉPÍTÉSTUDOMÁNYI INTÉZET
JELENTÉSE

Cementmentes vakoló- és falazóhabarcsok alkalmazásának ipari bevezetése

Budapest, 1958

A Cementmentes vakoló- és falazóhabarcsok alkalmazásának ipari bevezetése c. kutatási munka jelentését közzéteszem

A témát Ujhelyi János tudományos munkatárs dolgozta ki. A kutatásban közreműködtek: Bécsi Istvánné, Czerkl Györgyné és Novák László laboránsok.

Budapest, 1958. november 21.

Rudnai Gyula s.k.
Igazgató

1. A KÍSÉRLETI MUNKA ELŐZMÉNYEI

1.1. Bevezetés

Javított falazó- és vakolóhabarcsok készítéséhez építőiparunk csaknem kizárólag folyami, vagy bányahomokból, oltott mészből, vagy mészhidrátból és portlandcementből álló keverékeket alkalmaz. E keverékek kötőanyag tartalma tetemes. Az 1. táblázatban ismertetjük egyrészt a jelenleg érvényes előírás (1) néhány adatát, amely az 1 m^3 homokhoz adagolandó kötőanyagok mennyiségét adja meg, másrészt az 1 m^3 habarcsra átszámított közelítő habarcsösszetételt.

1. táblázat

Az MSZ 19-54 szerinti falazóhabarcsok összetétele

Habarcs jele	MSZ 19-54 szerint 1 m3 homokhoz adagolandó		1 m3 habarcs közelítő összetétele	
	mészpép m3	cementfajta és mennyiség kg	égetett mész kg	cement kg
H4 f/5o	o,25	5oo-as portlandcement, 5o	12o	6o
H4 f/75	o,25	5oo-as kohósalak p.c. 75	12o	8o
H4 f/1oo	o,25	5oo-as kohósalak p.c. 1oo	12o	11o
H1o f/15o	o,25	5oo-as portlandcement 15o	12o	16o
H8o fc/4oo	o,1o	5oo-as portlandcement,4oo	5o	44o

Az 1. táblázatban a könnyen javított (H4), a különlegesen javított (H10) és az igen nagyszilárdságú (H80) falazóhabarcsok összetételét tüntettük fel. A táblázatból láthatóan a kötőanyagtartalom 180-490 kg/m^3 között változik. E nagymértékű kötőanyag felhasználás ellenére a téglafalazatokban a habarcs a gyengébb építőanyag, a falazat szilárdsága pedig a habarcs szilárdságától is függ. *Sz.A. Andrejev* [2] szerint 150 kg/cm^2 nyomószilárdságú tégla alkalmazása esetén, ha a habarcs szilárdsága 4 kg/cm^2-ről 80 kg/cm^2-re nő, a falazat szilárdságának a változása 23-41 kg/cm^2, míg 50 kg/cm^2 nyomószilárdságú téglából készült falazat szilárdsága az előbbi habarcsszilárdságok mellett 12-25 kg/cm^2. *Andrejev* nem közli a vizsgált téglapillérek vagy falazatok méreteit. *O. Graf* [3] szerint – aki 38 cm vastag, 280 cm magas téglafalazatokat vizsgált – 100 kg/cm^2 szilárdságú tégla alkalmazásakor 5 kg/cm^2 nyomószilárdságú habarccsal 22 kg/cm^2, míg 40 kg/cm^2 nyomószilárdságú habarccsal 32 kg/cm^2 falszilárdság érhető el. A habarcsminőség okozta szilárdságkülönbség tehát nem jelentéktelen, különösen kis habarcsvastagság esetén.

A tetemes kötőanyagfelhasználás melletti kis habarcsszilárdság oka a nagy készítési vízmennyiség, az adalékanyag kis szemnagysága és a tömörítetlenség. E tényezőkön változtatni nem lehet, mert az szorosan összefügg a falazás és a vakolás technológiai adottságaival. Változtatni lehet azonban az alkalmazott kötőanyagon, az energiaigényes folyamatok során előállított mész, ill. portlandcement felhasznált mennyiségén. Az energiaigényességet hangsúlyozni kell, mert pl. 1 kg fehérmész előállításához kb. 2150 kcal, 1 kg 500-as portlandcement készítéséhez kb. 2100 kcal szükséges *Székely Á.* [4] adatai szerint, így a H4-f/50 jelű, könnyen javított falazóhabarcs 1 m^3-éhez szükséges kötőanyag gyártásához is kb. 370000 kcal hőenergiát használnak fel, vagyis kb. 130 kWó villamos energiát.

A Jelentés célja olyan nagyszilárdságú falazó- és vakolóhabarcsok ismertetése, amelyek cement nélkül, viszonylag kis mészfelhasználással állíthatók elő. E téma keretében nem végeztünk közvetlen kísérleteket, hanem részben az ÉTI Beton és habarcs osztályának több, régebbi kutatási eredményét, részben az irodalomban található adatokat vettük figyelembe. Ezek az adatok és eredmények főleg a hidraulikus pótlékokkal készült kötőanyag keverékek szilárdulására vonatkoznak. Mielőtt tehát rátérnénk a gyakorlati kérdések tárgyalására, elsősorban a cement nélküli kötőanyagokkal kapcsolatos ismereteinket foglaljuk össze. Ez az összefoglalás – a téma bonyolultsága miatt – terjedelmes, azonban az a véleményünk, hogy új építőanyag, vagy új építéstechnológiai eljárás bevezetéséhez feltétlenül szükséges az elméleti kutatások eredményeinek általános ismerete. A következőkben tehát az Építésügyi Minisztérium, a tervező és a kivitelező Vállalatok szakembereinek kívánunk kellő tájékoztatást nyújtani.

Ismeretes, hogy hidraulikus pótléknak nevezzük azokat a természetes előfordulású, vagy ipari melléktermékként keletkezett anyagokat, amelyek összetételében az aktív savanyú alkotórészek, mint a kovasav és az alumínium-oxid, túlsúlyban vannak. Ezek az anyagok finomra őrölve, mészhidráttal és vízzel, vagy portlandcementtel és vízzel keverve levegőn lekötnek, megszilárdulnak, levegőn való lekötés után vízben is tovább szilárdulnak [5]. A hidraulikus pótlékok közül mintegy 2000 éve ismert az olaszországi puccolán (vulkáni hamu), és ugyancsak több száz éve használják a rajnamelléki trachittufa őrleményét, a traszt. Amidőn az újabb, ipari melléktermékként keletkező hidraulikus pótlékok is ismertté váltak, a „puccolán" kifejezést ezekre az anyagokra is alkalmazták. Ma már a hidraulikus pótlékokat általánosan *puccolánnak* nevezhetjük. Hazánkban puccolánként alkalmazhatjuk a vulkáni tufáink őrleményeit, a traszt, ezenkívül a granulált kohósalak őrleményét és a pernyét.

A puccolán és a kalcium-hidroxid között létrejövő kémiai folyamat – eddigi ismereteink szerint – főleg kalcium-szilikát képződés: a puccolán aktív, kötőképes kovasava a kalcium-hidroxiddal kalcium-hidroszilikátot képez. Ez a meghatározás – bár a szakirodalom általánosan elfogadta – nem szabatos: még mindig nem tudjuk ugyanis azt, hogy az aktív, kötőképes kovasav alatt tulajdonképpen mi értendő, nem tudjuk, hogy a puccolánok melyik ásványi alkotórésze a hidraulikus tulajdonság hordozója. *H. Kühl* szerint [6] az eddigi hosszas kutatómunka ellenére sem sikerült még megnyugtató módon tisztázni azokat a folyamatokat, amelyek a mész és a trasz, vagy puccolán között végbemennek, így az egyes puccolánszerű anyagok közötti különbségek jelentősége e miatt egyelőre háttérbe is szorul. Eddig a természetes puccolánokkal végeztek legtöbb kísérletet, így ennek az anyagnak a tulajdonságai a legismertebbek. *H. Kühl* előző megállapítása értelmében azonban ezek az ismeretek egyelőre általánosíthatók a mesterséges puccolánokra is.

W. Eitel [7] szerint a SiO_2-hidrogén és a $Ca(OH)_2$ közötti lassú reakció folyamata eléggé tisztázott, lényegesen bonyolultabb azonban a kötés akkor, ha Al_2O_3 is jelen van, és ez majdnem minden puccolánban jelentős mennyiségű. *W. Eitel* és *H. Kühl* összefoglalja a puccolánkötéssel kapcsolatos eddigi elméleteket, azonban ezek között az elméletek között is sok az ellentmondás. Ezeknek az elméleteknek az ismertetésére nem vagyunk hivatottak, e rövid bevezetőben csak arra kívántunk rámutatni, hogy a mészpuccolánok kötésével és szilárdulásával kapcsolatos folyamatok bonyolultsága miatt sok kérdésre még nem lehet választ találni. A következőkben a mészpuccolánok szilárdulásával kapcsolatos gyakorlati tapasztalatainkat és az irodalomban található adatokat foglaljuk össze, valamint ismertetést adunk a mészpuccolánok minőségi vizsgálatával kapcsolatban szerzett ismereteinkről. Ez utóbbi problémát ugyancsak saját kísérleteink és az irodalomban található adatok alapján kívánjuk megvilágítani.

1.2 A mészpuccolánok szilárdulása.

A mészpuccolánok szilárdulásával kapcsolatos kérdéseket négy pontban csoportosíthatjuk:

- a puccolán aktivitásának a növelése (égetés vagy finomőrlés);
- a mészpuccolán kötőanyag legkedvezőbb összetétele;
- a mészpuccolánok idősebb korban esetleg bekövetkező szilárdságcsökkenése;
- a mészpuccolán habarcsok utókezelése (nedvesen tartás, gőzölés).

1.21. A szilárdulás gyorsítása

A mészpuccolánok legnagyobb gyakorlati hátránya a szilárdulási sebesség aránylag csekély volta. Ennek a hátránynak az elkerülésére a gyakorlatban gyakran korlátozott mennyiségű portlandcementet kevernek a mészpuccolán habarcsba, illetve betonba. Ezzel elérhető, hogy a portlandcement a szilárdulás kezdetén gerjesztő anyagként viselkedve növelje a szilárdulás sebességét, és később, amikor a puccolán és a mész közötti reakció megindul, a keverék már mészpuccolánként viselkedjék. Kézenfekvő, hogy a szilárdulás gyorsítását ne idegen anyag hozzáadásával, hanem a puccolán kémiai reakcióképességének a gyorsításával növeljük. Ennek két módját ismerjük: a puccolán égetése és az őrlésfinomság növelése. A puccolánok termikus kezeléssel történő aktiválásának rendszeres kutatásával elsőként magyar (*Dr. Wessely Imre* [8]), olasz (*O. Vittori, V. Cirilli*) és román (*A. Steope* [9]) kutatók foglalkoztak.

A tufa, vulkáni hamu, kohósalak, pernye stb. hidraulikus tulajdonságaikat nemcsak megfelelő kémiai összetételüknek köszönhetik, hanem annak a ténynek is, hogy keletkezésük folyamán magas hőmérsékletnek voltak kitéve. Ez a körülmény terelte azután abba az irányba a kísérleteket, hogy a bevált természetes puccolánok hidraulikus tulajdonságait égetéssel kíséreljék meg fokozni. Sőt, tisztán betontechnológiai szempontok is csábíthatnak az előzetes hőkezelés felé: a nagy kolloid tartalmú ásványokkal készült kötőanyag vízszükséglete nagy s ezt az előnytelen tulajdonságot az ásvány égetésével kiküszöbölhetjük. Az irodalmi adatok szerint [9] ezen kívül a puccolánok $Al_2O_3.2SiO_2.H_2O$ molekulája 500 °C hőmérsékleten elveszti kristályvizét, és egyidejűleg megszűnik a kötés a kovasav és a timföld között. Ha pedig ez a két anyag szabad állapotban van, mésszel egyesülve lehetségessé válik a hidroszilikát és a hidroaluminát képződése.

A puccolánok égetéssel történő aktiválásakor elsősorban nem az égetési hőmérséklet és időtartam, hanem a lehűtés módja és gyorsasága döntő. A külföldi beszámolók szerint [9] a hőkezelésre vonatkozó kísérletek legnagyobb részét 1920 és 1935 évek között végezték el, ezért lényeges kihangsúlyoznunk, hogy Magyarországon *Dr. Wessely Imre* már 1911 évben benyújtotta a selypi trasz hőkezeléssel való javítására vonatkozó szabadalmát [8].

Igen figyelemre méltóak újabban ezzel kapcsolatban *Bereczky Endre* professzor megállapításai [10], aki a különböző puccolánokat hét csoportra osztja (1: vulkáni üvegek, 2: opálos anyagok, 3: agyagok, 4: zeolitok, 5: Al_2O_3 és alumináthidátok, 6: hidraulikus kalcium-szilikátok és aluminátok, 7: abszorpcióra képes nem puccolános anyagok), és meghatározza az egyes csoportokba tartozó puccolánok hőkezelési optimumait. Olasz kutatók (*N. Parravano* és *V. Cagliotti* [6]) megállapítása szerint azonban a hőkezelés természetes puccolánok esetén csak idősebb korban eredményes, mert általában az aktivitás szempontjából rendkívül lényegesek a hidrotermikus és atmoszférikus hatások; a frissen keletkezett tufa, hamu és lapilli csak csekély puccolánszerű tulajdonsággal bír, amely hőkezeléssel sem javítható.

A puccolánok égetéssel történő aktiválásának kedvező hatása nemcsak a kezdőszilárdság növekedésében jelentkezik, hanem idősebb korban is megmutatkozik. A mészpuccolánok idősebb korban esetleg fellépő szilárdság visszaesésének vizsgálatával kapcsolatos kísérleteink során megállapítottuk [11], hogy pl. a sátoraljaújhelyi puccolán előzetes égetése a belőle készült kedvezőtlen összetételű habarcs ½ -1 éves szilárdságát is számottevően megjavítja.

A kezdeti szilárdság növelésének másik módszere az őrlésfinomság növelése. Ezen a téren *Dr. F. Parissi* és *H. Straub* végeztek részletes vizsgálatokat és megállapították [12], hogy az alkalmazott teljes puccolán-mennyiség 10-15 %-ának finomra őrlésével is jelentékeny hatás érhető el. Kísérleteiket különböző származású puccolánokkal, mészpéppel, illetve mészhidráttal készített habarcsokkal végezték. Változtatták a mész:puccolán arányt. Azt tapasztalták, hogy a finomra őrölt puccolánpor alkalmazása különösen mészhidráttal való keverése során jelentős; pl. Segni-i puccolán és mészhidrát keverékében alkalmazott 23 % puccolánpor mind az 1 hónapos, mind a 6 hónapos nyomószilárdságot kb. 100 %-kal megnövelte. Saját kísérleteink azonban, amelyet Ond-i riolittufából őrölt trasszal és őrölt égetett mésszel készült mészpuccolán habarcsokkal végeztünk, azt az eredményt adták, hogy a szi-

lárdság visszaesésre hajlamos ondi traszból készült mészpuccolán habarcs szilárdságát a finomőrlés kezdetben javította ugyan, idősebb – ½-1 éves – korban a szilárdság visszaesése viszont annál rohamosabban következett be.

1.22. Legkedvezőbb keverési arány

A mészpuccolán legkedvezőbb keverési arányának megállapítására vonatkozó első rendszeres kísérletekről szóló beszámolót *Dr. F. Parissi* és *H. Straub* értekezésében [12] találhatunk. Szerzők megemlítik, hogy az 1940-es években érdekes véletlen vezette rá a kutatókat a keverési arány meghatározásának a fontosságára: egy olasz középtengeri partfal építésén nagyobb műtárgyat készítettek mészpuccolánnal. A vállalkozó az előírásnak megfelelően a még *Vitruvius* által is közölt keverési arányt alkalmazta: 1 térfogatrész mészpép, 1 térfogatrész puccolán, 1 térfogatrész homok. A beton azonban gyenge minőségű lett. A betonműtárgy egy régebbi partfal építkezés folytatása volt, amelyre ugyancsak a fenti keverési arányt írták elő, és amellyel kapcsolatban semmilyen kifogás nem merült fel. Az ellenőrzések során kiderült, hogy a régi jóminőségű partfalat építő vállalkozó a puccolánhoz mérten drágább meszet megtakarítva 1:2:1 térfogat szerinti keverési aránnyal dolgozott, akaratlanul is jobb betonminőséget állítva elő. *Parissi* és *Straub* számtalan olasz puccolán vizsgálatát elvégezve azt találta, hogy a kezdőszilárság (1 hónapos kor) akkor nagy, ha a keverési arány 1:6 térfogatrész mészpép:puccolán, viszont az utószilárdulás (pl. 1 ½ éves korban mérve) akkor kedvező, ha a fenti keverési arány 1:3 – 1:4.

Az 1954-55 években folytatott kísérleteink során nagyszámú, különböző származású tufából készítettünk traszt, a traszok felhasználásával különböző összetételű mészpuccolánokat. E vizsgálatok során azt tapasztaltuk [13], hogy traszfajtától függően más és más mész:trasz keverési aránnyal lehet elérni a 28 napos legnagyobb habarcsszilárdságot, míg ha idősebb korban (1/2-1 év) akarjuk biztosítani a legnagyobb habarcsszilárdságot, akkor minden traszfajtát azonos mennyiségű mésszel kell összekeverni (45 súly % őrölt égetett mész, 55 súly% trasz). Ha azonban nem tiszta mész:trasz, hanem őrölt égetett gipsz:őrölt égetett mész:trasz keveréket alkalmazunk, akkor a legkedvezőbb keverési arány állandó a traszfajtától és a vizsgálat időpontjától függetlenül.

Említett kísérleteink eredményeképpen megállapíthattuk, hogy a hazai traszokkal készített mészpuccolánok legkedvezőbb keverési aránya: 42 % őrölt égetett mész, 3 % őrölt égetett gipsz és 55 % trasz. Az ezzel az összetétellel készített mészpuccolánok habarcsban és betonban is egyaránt alkalmazhatók.

1.23. Szilárdságvisszaesés

A puccolánok idősebb korban bekövetkező szilárdságcsökkenése nem általános jelenség. Az olaszországi puccolánok, illetve a Rajna-melléki traszok alkalmazásakor az irodalmi adatok szerint nem észleltek szilárdság-visszaesést, azonban a szovjet kutatók közlései [14], [15] utalnak erre a jelenségre s e téren mi is kiterjedt vizsgálatokat végeztünk [11], [13].

L. D. Ersov [15] szerint a mészpuccolánban a kovasav és a kalcium-hidroxid között lassan vég-bemenő kémiai reakcióhoz víz szükséges; ha a mészpuccolán a vízhozzáadástól számított 1-2 hónapon belül száraz levegőre kerül, akkor a már meglévő kolloid részek száradása és zsugorodása következik be, a kémiai reakció megszűnik, a behatoló szénsav a kalcium-hidroxidot leköti, karbonáttá alakítja, és szétrombolja a már képződött hidroszilikátokat és hidroaluminátokat. Ez okozza a szobalevegőn tárolt mészpuccolán készítmények idősebb korban esetleg bekövetkező szilárdságcsökkenését. Ha a mészpuccolán kötését meggyorsítjuk (gőzöléssel vagy autoklávolással), vagy különösen, ha megakadályozzuk a víz elpárolgását, akkor állandó szilárdságemelkedést érhetünk el.

Ezt az elméletet megerősíti *Schütz Mihály* [16] is a pernyével készült mészpuccolánokkal végzett kísérleteinek az eredményei alapján, az ún. mészpernyebetonok idősebb korban esetleg bekövetkező szilárdság-visszaesésének ellenőrzésekor.

A szilárdság-visszaesés okát azonban véleményünk szerint nem lehet a $Ca(OH)_2$ karbonátosodásában keresni. Ellentmond ennek a feltevésnek *W. Piepenburgnak* a német mészszabvány át-

dolgozásával kapcsolatos kísérletsorozata [17], [18], valamint az általunk végzett, a mészpuccolánok utókezelésének a hatására vonatkozó kísérletünk is [13]. *W. Piepenburg* a tárolási mód befolyását vizsgálta a karbonátosodás előrehaladására vonatkozóan 1:3 súly szerinti keverési aránnyal készített fehérmész habarcsokon. Megállapította, hogy a 4×4×16 cm-es hasábpróbatesteken 180 napos korban a karbonátosodás a tárolási módtól függően a határoló lapoktól mérve 2-5 mm mélységig hatol be, nagyobb (max. 15 mm-ig) csak akkor következett be karbonátképződés, ha a *Burchartz* és *Suensson* által javasolt utókezelést alkalmazta, vagyis a próbatesteket a levegőkicserélődés biztosítására minden 7. nap vízbemártotta. Véleménye szerint a $Ca(OH)_2$ karbonátosodásához olyan mennyiségű CO_2 szükséges, amelyhez a levegő csekély CO_2 tartalma nem elegendő, illetve ilyen körülmények között a karbonátosodás csak nagyon lassan mehet végbe. Ha *W. Piepenburg* mészhabarcsokkal végzett kísérleteit általánosíthatjuk, akkor megállapíthatjuk, hogy a mészpuccolán habarcsok szokásos tárolási módja mellett (7 napig vagy 28 napig nedves tér, utána szobalevegő) a karbonátképződés még a szilikátképződésénél is lassúbb folyamat.

Az ÉTI III/a Beton és habarcs osztályán az elmúlt négy évben végzett mészpuccolán kísérletek során kedvezőtlen összetételű, szilárdság-visszaesésre hajlamos keverékeket is vizsgáltunk, amelyeket részben szobalevegőn, részben nedves térben, részben víz alatt tároltunk. A szilárdság alakulását hosszabb időn át vizsgáltuk, és azt állapítottuk meg, hogy a tárolás módja a szilárdság visszaesésének csak az ütemét változtatja meg, megszüntetni azonban nem tudja. A keverékek szobalevegőn való tárolása mellett 4-5 hónapos, víz alatt tárolása esetén 6-7 hónapos korban észleltünk először szilárdság-visszaesést, és ettől az időponttól kezdve a szilárdság folyamatosan, megszakítás nélkül csökkent. A víz alatti tárolás pedig a karbonátosodást tekintve kedvezőtlen.

Említett kísérleteink során egyéb tapasztalatokat is szereztünk. Voltak traszfajták, amelyek minden méspuccolán-összetételben és minden tárolási mód mellett idők múltán vesztettek a szilárdságukból, más traszfajtákkal készített mészpuccolán habarcsok viszont minden összetételben állandóan és folyamatosan szilárdultak, s végül voltak olyan traszfajták, amelyek bizonyos összetételben folyamatosan szilárdultak, más összetételben viszont idők múltán vesztettek a szilárdságukból. Megállapítottuk továbbá, hogy kismennyiségű (3 %) őrölt égetett gipsz adagolása mind a kezdőszilárdságot, mind a későbbi szilárdulást tekintve általában kedvező hatású. A kísérletek részletes eredményei az idézett dolgozatokban megtalálhatók. A kísérletek során megállapítottuk azt is, hogy a készítési vízmennyiségnek döntő szerepe van a szilárdságok alakulásában. Földnedves-félplasztikus konzisztenciájú traszhabarcsok szilárdulása idősebb korban is általában töretlen, az erősen plasztikus konzisztenciájú traszhabarcsok azonban hajlamosak idősebb korban a szilárdság-visszaesésre.

Ismertetett kísérleteink alapján tehát az a véleményünk, hogy egyes mészpuccolánok idősebb korban esetleg bekövetkező szilárdság-visszaesése nem a karbonátosodás következménye, hanem ennek oka a mészpuccolán összetételében keresendő. A rendelkezésünkre álló vizsgálati eredmények alapján még feltételezni sem tudjuk, milyen alkotóelemek, vagy ezek milyen egymásrahatása befolyásolhatja a szilárdság visszaesését, de ennek megállapítására nem is vagyunk hivatottak. Vizsgálataink szerint azonban a mészpuccolán habarcsok zsugorodásának a mértéke jellemző az anyag idősebb korban várható viselkedésére. A hosszváltozások mérésével az idősebb korban bekövetkező szilárdság-visszaesés becsülhető. Ha az általunk javasolt [13] összetételű mészpuccolán habarcsok 28 napos hosszváltozása a 2 napos alaphosszhoz képest – 6 ‰-nél kisebb volt, a habarcs „légállónak" bizonyult, vagyis hajlandósága a szilárdság-visszaesésre kicsiny volt. Ha a zsugorodás 0,6 ‰-nél nagyobbra adódott, a mészpuccolán szilárdság-visszaesésre hajlamosnak bizonyult. Éppen ezért javasoltuk a hazai puccolánok minősítéséhez a zsugorodás vizsgálatát is.

Végül megjegyezzük, hogy az ÉTI III/a és III/b osztálya a mészpuccolánok szilárdság-visszaesésének megállapítására vonatkozó kísérleteit tovább folytatja. Az ÉTI végleges álláspontját csak e kísérletek befejeztével lehet kialakítani.

1.24. Utókezelés

A mészpuccolán habarcsok és betonok megfelelő utókezelése még a szokványos portlandcement habarcsok és betonok megfelelő utókezelésénél is lényegesebb. A mészpuccolán habarcsok és betonok ugyanis a szilárdulás alatt mind a nedvességre, mind a hőmérsékleti hatásokra rendkívül érzékenyen reagálnak. Éppen ezért a mészpuccolán készítmények utókezelését két szempontból kell megvizsgálni:

- a nedvesen tartás szempontjából és
- a hőérlelés (gőzölés vagy autoklávolás) szempontjából.

1.241. Nedvesentartás

Általában rendkívül fontos a mészpuccolán készítmények nedvesen tartása minél hosszabb ideig, de különösen fontos az őrölt égetett mész és a trasz keverék alkalmazása esetén. A szilikát- és az aluminátképződéshez vizes környezet szükséges, az őrölt égetett mésznek azonban olyan magas az exoterm hője, amely a kész habarcsot veszélyes mértékben kiszáríthatja akkor, ha nem gondoskodunk utólag a kellő nedvesítésről. De a nedvesen tartás hosszú idejére van szükség minden más mésztípus (mészpép, mészhidrát) alkalmazása esetén is, éppen a szilikátképződés lassúsága miatt.

Az ETI III/a Beton és habarcs osztályán végzett kísérletek szerint [11] a 7 napig nedves térben, majd 18-20 °C hőmérsékletű vízben tárolt mészpuccolán habarcspróbatestek nyomószilárdsága 28 napos korban kb. 20 %-kal, hajlítószilárdsága kb. 100 %-kal volt nagyobb, mint a 7 napig nedves térben és utána szobalevegőn tárolt próbatesteké. Ez a szilárdságkülönbség idősebb korban is megmaradt, a szilárdság visszaesésre hajlamos traszokkal készült mészpuccolán habarcsok esetén még növekedett is annak ellenére, hogy a szilárdság visszaesést a víz alatt tartás nem akadályozta meg. Vizsgálataink szerint a hosszabb ideig (1-2 hónapig) víz alatt tartott mészpuccolán habarcsok zsugorodása idősebb korban is (1-1½ éves) lényegesen kisebb, mint a rövid ideig nedves térben, majd szobalevegőn tárolt mészpuccolánoké. A zsugorodás utóbbi esetben 1½ éves korban 1,5-3,0 ‰, előző esetben csak 1,0-2,0 ‰.

A mészpuccolán habarcsok zsugorodásának 80 %-a a nedvesentartás megszűnte után igen hamar – 1-2 hét alatt – végbemegy, és a még nem kellő szilárdságú anyagban könnyen keletkezhetnek a szilárdságot csökkentő hajszálrepedések. Feltételezhető, hogy a hosszú ideig való nedvesen tartás kémiai hatásán kívül azzal a mechanikai hatással is jár, hogy a viszonylag szilárdabb habarcs a zsugorodás okozta húzófeszültségeknek jobban ellenáll, a hajszálrepedések keletkezésének kisebb a valószínűsége. A nedvesentartás hosszú időtartamának a jelentőségét elsősorban ebben látjuk.

1.242. Hőérlelés

A SiO_2 és a $Ca(OH)_2$ reakcióját elősegíti és meggyorsítja a 60-80 °C-on végzett gőzölés, illetve a 160-180 °C-on és 6-8 atm nyomáson végzett autoklávolás. Ismeretes, hogy az egyébként inert kvarchomok is finomra őrölve reakcióba lép a kalciumhidroxiddal. A gőzölés, illetve az autoklávolás a mészpuccolán habarcsok, illetve betonok szilárdságát is jelentősen növeli, az optimális hőérlelési feltételek azonban kísérleteink szerint [11] traszfajtánként változnak. Mivel ez a Jelentés csak vakoló- és falazóhabarcsokkal foglalkozik, ahol ezek az érlelési módszerek nem jönnek számításba, a hőkezelési problémákat nem részletezzük s csak a teljesség kedvéért említettük meg.

1.3. A mészpuccolánok minősítése

A mészpuccolán készítésére alkalmazható puccolán-anyagok minősítése régóta foglalkoztatja a kutatókat, különböző vizsgálati, minősítési eljárásokat dolgoztak ki, azonban a szilárdság vizsgálatának a kivételével egyik módszer sem vált be, nem volt megfelelő és szabatos. A következőkben megpróbáljuk röviden összefoglalni a puccolánanyagok minősítésével kapcsolatos eddigi legfontosabb kísérleteket, javaslatokat, majd vázoljuk az ezzel kapcsolatos álláspontunkat. Mindenek előtt megjegyezzük, hogy a következőkben csak a mészpuccolánok minősítésével foglalkozunk, az elmondandók tehát nem vonatkoznak a portlandcementhez kevert puccolánok minősítésére, mert – amint ezt

Gáspár Géza kísérletei már 1936-ban bebizonyították [19] – a mészpuccolán vizsgálatokból a puccolán-portlandcementek viselkedésére nem lehet következtetéseket levonni.

Ezideig a következő lényegesebb puccolán-minősítési módszereket alkalmazták:

- oldható kovasav tartalom meghatározása,
- hidrátvíz tartalom meghatározása,
- ionkicserélő képesség meghatározása, szilárdságvizsgálat, hosszváltozások vizsgálata.

1.31. Oldható SiO_2 tartalom

A puccolánok savoldható SiO_2 tartalmának meghatározását csak kezdetben alkalmazták a kémiai aktivitás mértékének az előbecslésére, de már *R. Feret* utalt arra [20], hogy a hidraulit nem savval, hanem mésszel reagál, így nem savban, hanem inkább az alkáliákban oldható kovasav megállapítása lehetne mértékadó. Ennek alapján egy ideig alkalmazták is a kálilúgban való SiO_2 oldhatóság vizsgálatot a traszok minősítésére, mivel azonban ezeknek eredményei nem álltak összhangban a szilárdságvizsgálatok eredményeivel, ezt a minősítési módszert is elvetették. Hazánkban *Dr.Wessely Imre* már az első világháború alatt végzett vizsgálataiban kimutatta [8], hogy a különböző savakkal, illetve lúgokkal oldott kovasav mennyiségek sem egymással, sem az akkor érvényes szilárdságvizsgálat eredményeivel (földnedves habarcspróbatestek) nem állnak összhangban. Az első világháború után tudomásunk szerint már sehol sem minősítettek az oldható kovasav mennyisége alapján, csupán a kémiai összetétel meghatározására végzik el ezt a vizsgálatot.

1.32. Hidrátvíztartalom

A Rajna-melléki (Nette- és Brohl-völgyi) traszok minősítésére az első világháború után a német szabványok előírták a hidrátvíztartalom vizsgálatát. *H. Hart* [21] vizsgálatai szerint azonban a hidrátvíztartalom nem jellemző a trasz aktivitására, mert pl. 13 % hidrátvíztartalmú trasszal készített mészpuccolán szilárdsága egy kísérletsorozat során jóval kisebb volt, mint más származású, 6 % hidrátvíztartalmú trasszal készített mészpuccolán szilárdsága. *H. Hart* véleménye szerint a szilárdság nem a kötött víz mennyiségétől, hanem inkább a kötés módjától és attól függ, hogy a víz a trasz melyik ásványi alkotóelemében helyezkedett el. *Dr. Löw Márton* 1937 évben közölt vizsgálatai alkalmával állapította meg [22], hogy a hidrátvíz tartalom mennyisége nem jellemző a minőségre. Ezt a vizsgálati eljárást egyébként is csak a német traszok minősítésére írták elő, máshol nem honosodott meg.

A hidrátvíz tartalomnak a szilárdságra gyakorolt befolyása már csak azért sem lehet jelentős, mert a traszok 500 °C fölött elvesztik hidrátvizüket és az aktivitásnövelő hőkezelés optimális hőfoka 500 °C és 700 °C között van.

1.33. Ionkicserélő képesség

Az ionkicserélő képesség vizsgálatát a traszok minőségének a megállapítására az MSZ 4706-53 magyar szabvány is előírja. E témával kapcsolatosan a NEVIKI-ben végeztek néhány kísérletet [23], és ezeknek a kísérleteknek az eredményei összhangban voltak a szilárdságvizsgálat eredményeivel. Az Építőanyagipari Központi Kutatóintézetben 1955-ben – kérésünkre – megvizsgálták 9 hazai traszfajta ionkicserélő képességét az MSZ 4706-53 szerint, a vizsgálatok eredményei azonban az ugyanezen traszokkal készült mészpuccolán habarcsok szilárdságával ellentmondásban voltak [13]. *Bereczky Endre* véleménye szerint az ionkicserélő képesség mértéke csak az opálos anyagok és a zeolitok aktivitására jellemző, egyéb puccolán-típusokra nem. Ez a vizsgálati módszer tehát szintén nem alkalmas minősítési eljárás.

1.34. A minősítés javasolt módszere

Bereczky Endre 1955 évi akadémiai előadásában megállapította [10], hogy a szabványban leírt vizsgálati módszerek lehetőséget adnak ugyan arra, hogy egy adott puccolánfajta egyenletességét ellenőrizzük, de különböző eredetű, különböző anyagszerkezetű puccolánok összehasonlítására nem alkalmasak. Erre csak a szilárdság, a kötőerő meghatározása tekinthető kifogástalannak, figyelembe

véve azonban azt, hogy a mészpuccolán kötőereje nem ad lehetőséget arra, hogy következtetni lehessen az adott puccolánból készített traszportlandcement kötőerejére. Szükséges továbbá az is, hogy a kötőanyagokkal készített habarcsok szilárdságát olyan víz/cement tényezővel is vizsgáljuk, amelyet a gyakorlatban is alkalmazunk.

A mészpuccolánok szilárdságának a megállapítására azonban kísérleteink szerint nem alkalmas a jelenleg érvényes MSZ 4706-53 szabvány vizsgálati eljárása, ezért új szilárdságvizsgálati eljárás bevezetésére több ízben is tettünk javaslatot [11], [13]. Az általunk javasolt vizsgálati módszer az eddigitől az alábbiakban tér el:

- az alkalmazott adalékanyag szemszerkezete,
- a felhasznált mészpuccolán összetétele,
- a vízadagolás mértéke.

1.341. Az alkalmazott adalékanyag szemszerkezete.

Dr. Löw Márton már 1937 évi kísérleteihez nem a szabványos, a földnedves cementhabarcs vizsgálathoz használt egyszemcsés normálhomokot alkalmazta, hanem folyamatos szemszerkezetű, nagy finomrész tartalmú dunai homokot. Tette ezt azért, nehogy a normálhomok használata esetén a trasz és a cement keverékének azért javuljon a szilárdsága, mert a trasz finom adalékanyagként viselkedve tömöttebbé és így szilárdabbá tegye a rendszert [22]. Ezt az elvet magunk is alkalmazandónak tartottuk, kísérleti próbatesteinket hasonlóan nagy finomrésztartalmú homokkal készítettük. Új, a jelenlegi szabványelőírástól eltérő szemeloszlású adalékanyag alkalmazását már csak azért is be kell vezetni a traszvizsgálatokba, mert a most kidolgozott (javasolt) nemzetközi cementszabvány a cementvizsgálatokhoz is hasonlóan folyamatos szemszerkezetű adalékanyagot ír elő. A folyamatos szemszerkezetű homokkal készült mészpuccolán habarcs a gyakorlatilag is alkalmazottakhoz hasonló, a vizsgálati eredményekből tehát a gyakorlat számára sokkal megbízhatóbb következtetéseket lehet levonni.

A folyamatos szemszerkezetű adalékanyag alkalmazását a fentieken kívül nem utolsó sorban az is indokolja, hogy az ezzel készült mészpuccolán habarcs konzisztenciáját sokkal inkább lehet ellenőrizni, a gyakorlatban használthoz hasonlóvá tenni, ami ugyancsak az eredmények gyakorlati hasznosítása szempontjából kedvező.

1.342. A mészpuccolán keverési aránya

A mész:trasz keverési arány fontosságára már több kutató felhívta a figyelmet (részletesen lásd az 1.22. szakaszt), mindazonáltal a szabvány minden traszfajtára azonos mész:trasz összetétel alkalmazását írja elő: 1 súlyrész traszt (4900-as szitán a szitamaradék legfeljebb 15 %) 0,8 súlyrész őrölt oltott mésszel kell összekeverni s ehhez a keverékhez 1,5 súlyrész egyszemcsés (durva) normálhomokot kell adagolni. A kockapróbatesteket földnedves konzisztenciájú habarcsból kell elkészíteni s nyomószilárdságukat 28 napos korban kell megvizsgálni.

Több éven át folytatott vizsgálataink során 4×4×16 cm-es hasábpróbatesteket készítettünk különböző összetételű mészpuccolánnal, 0-5 mm-es folyamatos szemszerkezetű homokkal és plasztikus konzisztenciával. Megállapítottuk, hogy ez a vizsgálati módszer alkalmasabb a puccolán minősítésére, főleg akkor, ha az alkalmazott mészpuccolán összetétele: 42 % őrölt égetett mész, 3 % őrölt égetett gipsz és 55 % trasz. Ha nem alkalmaznak gipszet is, akkor a 28 napos szilárdsági eredmények nem a traszfajtától, hanem elsősorban a mészadagolás nagyságától függenek; más fogalmazásban: minden traszfajtához más és más mennyiségű mész adagolása esetén kapjuk 28 napos korban a legnagyobb szilárdságot. Ezzel szemben 3 % gipsz adagolása esetén állandó maradhat – a traszfajtától függetlenül – a mészadagolás.

Példaként megemlítjük, hogy pl. a sátoraljaújhelyi trasz az MSZ 4706 szerint vizsgálva 107 kg/cm^2 nyomószilárdságú, az uzsabányai bazalttufából őrölt trasz 112 kg/cm^2 nyomószilárdságú. Ha az optimális mész:trasz aránnyal készült plasztikus habarcs szilárdságát hasábpróbatesttel ellenőrizzük (az optimális mésztartalom a sátoraljaújhelyi trasz esetén 75 %, uzsabányai trasz esetén 55 %), akkor a sátoraljaújhelyi mészpuccolán 64 kg/cm^2, az uzsabányai mészpuccolán 28 kg/cm^2 nyomószilárdságú. Ha a mész:gipsz:trasz keverési aránya az általunk javasolt 42 % : 3 % : 55 %,

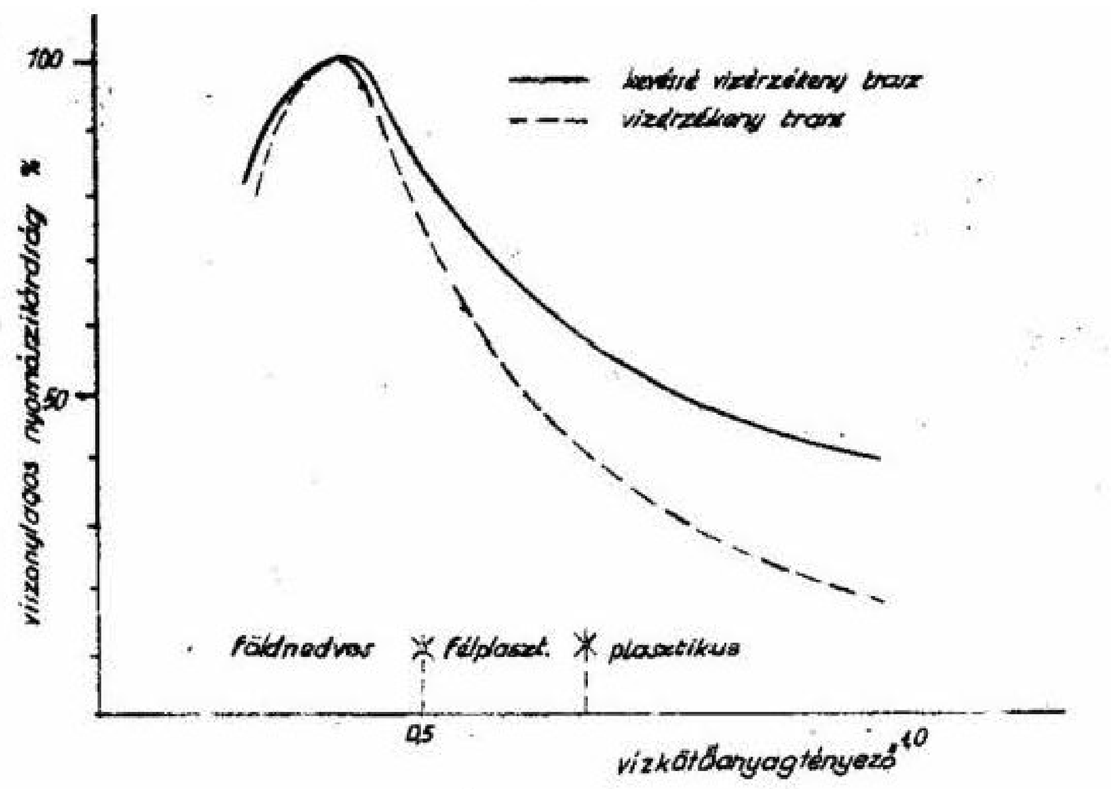
akkor a sátoraljaújhelyi mészpuccolánnal készült habarcshasábok nyomószilárdsága 98 kg/cm^2, az uzsabányai mészpuccolánnal készült habarcsoké 42 kg/cm^2. A beton nyomószilárdsága is ez utóbbi szilárdság-arány szerint alakul.

A mészpuccolán minősítésére tehát 4×4×16 cm-es hasábpróbatesteket kell készíteni 15 cm terülésű, a fenti összetételű mészpuccolán habarcsból, és nem földnedves habarcsból 7,07 cm élhosszúságú kockapróbatesteket az MSZ 4706 szerinti összetétellel. Erre vonatkozó részletes javaslataink a [11] és a [13] alatt megtalálhatók.

1.343. Vízadagolás, konzisztencia

Az MSZ 4706-53 előírása szerint a mészpuccolánok minősítéséhez azonosan földnedves konzisztenciájú habarcsból kell a próbatesteket elkészíteni. A különböző traszfajtáknak a vízigénye eltérő, ezért az azonos konzisztencia eléréséhez a habarcsot ellenőrizni kell: a géppel bedöngölt kockát azonnal ki kell zsaluzni, és ha a próbatest felületén nem keletkezik vízkiválásból származó repedés, illetve a sablon alján látható az ún. „márványerezés", akkor megfelelő konzisztenciájú a habarcs. A megfelelő vízmennyiséget általában csak megismételt próbálkozások után lehet beállítani.

Ezt a vizsgálati eljárást nem találjuk megfelelőnek a konzisztencia túlságosan száraz volta, és az eljárás nehézkessége miatt, továbbá azért, mert így a traszok eltérő vízigényét meg lehet ugyan állapítani, de eltérő vízérzékenységét nem. Helyesebbnek tartjuk kétféle azonos vízmennyiséggel készült, félplasztikus és plasztikus konzisztenciájú habarcspróbatestek vizsgálatát. Ezt az álláspontunkat az alábbiakkal indokoljuk:



A nyomószilárdság változása a konzisztenciától függően a vízérzékeny és a kevésbé vízérzékeny trasz-kötőanyag keverékkel készített habarcsok esetén

A készítési vízmennyiség, illetve a terülés és a nyomószilárdság összefüggését jellemző ábrából kitűnik, hogy a földnedves tartományban a víz/cement tényező kis változása a szilárdság nagymértékű változását vonja maga után, ugyanakkor a félplasztikus-plasztikus tartományban a víz/cement tényező kis változásával a szilárdság is csak kismértékben változik. Ha tehát a különböző vízigényű traszokból azonos vízmennyiséggel földnedves tartományba tartozó konzisztenciájú habarcsokat készítünk, ezzel szilárdsága az optimális szilárdsághoz képest –20 %-kal is változhat. Ha azonban a plasztikus tartományban készítünk azonos vízmennyiséggel próbatesteket, a szilárdságok eltérése csak mintegy ± 6-8 %, a traszok vízigényétől függően.

Például 15 cm terüléshez az általunk javasolt összetételű habarcshoz riolittufák esetén kb. 0,8, bazalttufák esetén kb. 0,72 és andezittufák esetén kb. 0,64 víz/cement tényező szükséges. Ha tehát egységesen v/c = 0,72 értéket választunk, akkora 15 cm terüléshez tartozó szilárdsághoz képest csak ± 6-8 % eltérés lehetséges. Ez esetben ezért nem szükséges a konzisztencia próbálgatással való beállítása, mert azonos vízmennyiség alkalmazása mellett sincs lényeges eltérés az optimális szilárdságtól. Az azonos konzisztencia helyett az azonos vízmennyiség alkalmazása egyébként az új (ajánlott) nemzetközi cementszabvány előírása is.

A puccolánoknak nemcsak a vízigénye, hanem a vízérzékenysége is eltérő, és a gyakorlati felhasználás szempontjából ennek ismerete elengedhetetlen. Az ábrán a normális és a nagy vízérzékenységű mészpuccolánok szilárdságának az alakulását is megszerkesztettük. A vízérzékenység megállapításának legbiztosabb módszere, ha a kb. 15 cm terüléshez tartozó állandó 0,72 v/c tényе-

zőn kívül a plasztikusabb konzisztencia előállításához alkalmas 0,9-1,0 v/c-vel is készítünk habarcsot, és a kétféle habarcs szilárdsági eredményeit hasonlítjuk össze.

1.35 Zsugorodás

Amint az 1.23. pontban mondottuk, a szilárdság idősebb korban esetleg bekövetkező visszaesésére a mészpuccolán habarcsok zsugorodásának a mértékéből lehet következtetni. Az eddigi trasz-szabvány erre vonatkozóan nem tartalmazott előírásokat, azonban az MSZ 523-53 szabványnak a hosszváltozás vizsgálatára vonatkozó 6.5. pontja értelemszerűen alkalmazható a mészpuccolánokra is. A habarcs összetétele ugyanolyan, mint a szilárdságvizsgálat esetén.

⇔ ⇔ ⇔ ∞ ∞ ∞ ⇔ ⇔ ⇔ ∞ ∞ ∞ ⇔ ⇔ ⇔ ∞ ∞ ∞ ⇔ ⇔ ⇔

A mészpuccolánokkal kapcsolatos ismereteink összefoglalása után térünk rá a hazai puccolános tulajdonságú anyagok ismertetésére. Ezeket az anyagokat részben az ÉTI-ben, részben a Hejőcsabai, illetve Lábatlani Cementgyárakban vizsgálták meg, és egy részüket a gyakorlatban is kipróbálták.

2. A KÍSÉRLETI MUNKA ISMERTETÉSE

Cementmentes vakoló- és falazóhabarcs készítésére hazánkban a következő anyagok alkalmasak:

a) A vulkáni tufák őrleményével (trasszal) készült kötőanyagok:
   - trasz, őrölt égetett mész és őrölt égetett gipsz keveréke,
   - trasz, mészhidrát és őrölt égetett gipsz keveréke,
   - trasz, mészpép és őrölt égetett gipsz keveréke.

b) Kohósalakőrleménnyel készült kötőanyagok:
   - kohósalakőrlemény és mész keveréke,
   - kohósalakőrlemény, égetett agyag és mész keveréke,
   - kohósalakőrlemény és klinkerőrlemény keveréke.

c) Klinkerégető kemence szállópora mésszel keverve.

d) Pernye mésszel keverve.

e) Egyéb kötőanyagkeverékek:
   - anhidrit és kohósalakőrlemény, vagy portlandcement keveréke,
   - égetett agyag és mész keveréke.

A trasszal az ÉTI Beton és habarcs osztályán végeztünk részletesebb kísérleteket.

A kohósalak őrleménnyel készült kötőanyagokat a Hejőcsabai Cement és Mészművek gyártotta 1954 november hónapban üzemi kísérletek során, tulajdonságait részben a Cementgyár laboratóriuma, részben az ÉTI Beton és habarcs osztálya vizsgálta [24].

A pernye és mész, valamint az anhidrit és kohósalakőrlemény, vagy portlandcement keverékét a Lábatlani Cementgyár ellenőrizte [25].

Az égetett agyag és mész keverékekről nincs hazai vizsgálati eredmény, ezekről főleg *P. P. Budnyikov* és *S. J. Chvostenkov* értekezése [26] alapján közlünk adatokat.

A továbbiakban a fent felsorolt kötőanyagok habarcsvizsgálati eredményeit ismertetjük. Megjegyezzük, hogy a vizsgálati eljárások nem voltak egységesek, ezért az eredmények összehasonlítása – elsősorban a szilárdságot tekintve – nehézkes. A különböző kötőanyagok viselkedését azonban több esetben vakolatok készítésével is ellenőrizték, így az itt szerzett tapasztalatok összefoglalása bizonyos összehasonlításra ad lehetőséget.

2.1. A trasz, őrölt égetett mész, vagy mészhidrát és őrölt égetett gipsz keverékek vizsgálata

A 2. táblázatban a 42 % őrölt égetett mész, 3 % őrölt égetett gipsz és 55 % cementfinomságúra őrölt trasz keverékéből készített 4×4×16 cm-es hasábok nyomó- és hajlítószilárdsági eredményeit közöljük. Az alkalmazott adalékanyag összetétele:

Finom normálhomok (MSZ 523-53)	40 súly %
Durva normálhomok (MSZ 523-53)	30 súly %
1-5 mm-es dunai homok	30 súly %

2. táblázat: Trasz-mész-gipsz keverékek vizsgálati eredményei

A trasz származási helye	*Nyomószilárdság, kg/cm²*				*Hajlítószilárdság, kg/cm²*			
	7	*28*	*90*	*180*	*7*	*28*	*90*	*180*
	napos korban							
Bodrogkeresztúr, I.bánya	25	44	66	87	6	15	16	18
Bodrogkeresztúr, II.bánya	20	46	58	69	9	13	16	18
Bodrogkeresztúr, V.bánya	16	39	52	59	7	13	14	17
Sátoraljaújhely	46	98	135	148	18	26	28	31
Hejőcsaba	18	36	55	59	7	15	14	12
Egertihamér	13	25	31	44	6	10	13	17
Andornaktállya	29	51	9	98	9	14	22	24
Ond	52	100	148	124	19	31	34	27
Rátka	24	39	42	45	9	12	12	14
Gyöngyös-Farkasmáj	21	34	51	63	6	13	15	18
Szentendre-Dömörkapu	13	28	59	74	4	9	16	25
Nógrádverőce	22	37	47	48	7	13	15	16
Tar	64	108	135	122	20	27	32	30
Sághegy	21	36	65	73	8	12	17	18
Uzsabánya (barna)	26	42	65	78	9	12	17	18
Uzsabánya (szürke)	15	30	48	56	7	14	15	17

A habarcs kötőanyagtartalma: 400 kg/m³. A száraz keverékekhez annyi vizet adagoltunk, hogy a terülés az MSZ 523-53 szerint mérve 15 cm legyen. A hasábokat ugyancsak az MSZ 523-53 szerint készítettük el. Tárolás: 28 napig nedves térben (90-98 % nedvességtartalom), azután szobalevegőn.

A 2. táblázat adatai szerint a hejőcsabai, az ondi és a tari traszok kivételével – amelyek idősebb korukban veszítettek szilárdságukból – minden vizsgált trasz alkalmas habarcsok készítésére. Az egertihaméri, a szürke uzsabányai és a szentendrei traszok kezdőszilárdsága kicsi, emiatt ezek a traszok csak másodsorban jöhetnek számításba.

Mindezekre a traszanyagokra érvényes az, amit az 1.2. pontban bevezetőként említettünk. A szilárdság, különösen a kezdőszilárdság megfelelő égetéssel növelhető; legmegfelelőbb az a kötőanyag-összetétel, amellyel a vizsgálatokat is elvégeztük; a traszhabarcsok szilárdulására jó hatással van a nedvesen tatás minél hosszabb ideig.

A bodrogkeresztúri traszból, mészhidrátból és őrölt égetett gipszből álló kötőanyag keverékekkel a vakolhatóságot is megvizsgáltuk a tatabányai 3.sz. Betonelemgyár tufabeton blokkból készült irodaépületén. A vakolóhabarcs kötőanyag tartalma 300 kg/m³ volt, tehát m³-enként 171 kg traszt, 120 kg mészhidrátot és 9 kg őrölt égetett gipszet használtunk fel. Az elkészült habarcs – vizsgálataink szerint – szilárdságilag egyenértékű volt a H10 falazóhabarccsal, amelyben m³-enként 175 kg 500-as portlandcement és 125 kg égetett mész van. A kötőanyag megtakarítás tehát igen tetemes.

A vakolás vizsgálatához a habarcsot kézzel keverték. A tapasztalatok szerint a mészpuccolán alkalmazása semmilyen különösebb nehézséget nem jelentett. A vakolást 1957. november hónapban, kedvezőtlen időjárás mellett végezték el (időnként fagyos, szeles, általában hűvös idő). A vakolat ½ éves korban semmilyen elváltozást nem mutat, a párhuzamosan készített javított vakoló habarcsokkal legalábbis egyenértékűnek tekinthető.

2.2. Kohósalak őrleménnyel készült keverékek vizsgálata

A kohósalak őrlemény felhasználásával készült kötőanyag keverékeket a Hejőcsabai Cement és Mészművek gyártotta 1954. november hónapban. Az egyes anyagok összetétele a gyár közlésének megfelelően a következő:

K1 jelű anyag: 85 % kohósalak, 10 % égetett mész, 5 % gipszkő
K2 jelű anyag: 66 % kohósalak, 20 % templomhegyi agyag, 10 % égetett mész, 4 % gipszkő
K3 jelű anyag: 90 % kohósalak, 10 % mész
K4 jelű anyag: 70 % kohósalak, 20 % templomhegyi agyag, 10 % égetett mész
K10 jelű anyag: 90 % kohósalak, 10 % forgókemencei klinker.

A gyár közlése szerint mind az ötféle anyagot üzemi malomban, üzemszerűen őrölték. Az anyagokat a Hejőcsabai Cementgyár laboratóriumában az MSZ 523-53 szerint vizsgálták meg, a földnedves cementhabarcs vizsgálati előírásai szerint. A 3. táblázatban közöljük a gyár Minőségellenőrzési Osztálya kísérleti naplójából vett vizsgálati adatokat: a földnedves habarcspróbatestek nyomó- és húzószilárdságát, valamint a kísérleti napló tételszámát.

3. táblázat: A Hejőcsabai Cement- és Mészművek által gyártott „mészpótló" anyagok MSZ 523-53 szerinti földnedves habarcsvizsgálatának eredményei

Kötőanyag jele	Napló szám	Nyomószilárdság, kg/cm²				Húzószilárdság, kg/cm²			
		7	28	180	365	7	28	180	365
		napos korban							
K1	1984	60	163	245	320	7	25	23	32
K2	1988	105	195	355	390	9	29	31	36
K3	2000	130	220	320	395	13	28	31	42
K4	2004	90	175	425	375	7	24	35	45
K10	1993	45	137	220	300	6	17	24	32

Ugyanezeket az anyagokat az ÉTI Beton és habarcs osztályán is megvizsgáltuk [24]. Eredményeink közül a 4. táblázatban foglaltuk össze az 1 mm legnagyobb szemnagyságú, légszáraz bányahomokkal készített, kb. 14 cm terülésű habarcsok 7,07 cm élhosszúságú habarcspróbatesteinek nyomószilárdsági eredményeit. A habarcsot 150, 250, 350 és 450 kg/m³ kötőanyaggal készítettük. Megjegyezzük, hogy a 14 cm terülésnek megfelelő konzisztencia szárazabb, mint amilyet a gyakorlatban alkalmaznak. *W. Piepenburg* kísérletei szerint [17] azonban még a jól nedvesített téglafalazat is szív el a habarcstól vizet. Az elszívott vízmennyiséget 14 cm terülésű habarcskonzisztenciával lehet figyelembe venni.

4. táblázat: Hejőcsabai „mészpótló" anyagokkal végzett falazóhabarcs vizsgálatok szilárdsági eredményei

Jel	7 napos nyomószilárdság, kg/cm²				28 napos nyomószilárdság, kg/cm²			
	150	250	350	450	150	250	350	450
	kg/m³ kötőanyagtartalom esetén							
K1	1	1	2	3	2	4	12	27
K3	1	2	4	7	3	9	15	36
K4	-	1	2	6	-	12	21	43
K10	-	2	5	10	-	10	16	26

A 4. táblázat szerint a K1 jelű anyagból 450 kg/m³, a K3 jelű anyagból 400 kg/m³, a K4 jelű anyagból 350 kg/m³, és végül a K10 jelű anyagból 450 kg/m³ szükséges a H25 jelű falazó cementhabarccsal szilárdságilag egyenértékű habarcs készítésére. Ellentétben a H25 jelű cementhabarcshoz szükséges 250 kg/m³ 500-as portlandcement és 45 kg/m³ égetett mész felhasználásával, a mészpótlóból készült habarcsok mész-, illetve cementtartalma (tehát a gyártásukhoz hőenergiát is igénylő kötőanyagok mennyisége) ugyanezen habarcsminőség előállítása esetén az alábbi:

K1 jelű anyag : 45 kg/m^3 égetett mész
K3 jelű anyag : 40 kg/m^3 égetett mész
K4 jelű anyag : 38 kg/m^3 égetett mész
K10 jelű anyag : 45 kg/m^3 forgókemencei klinker

Az adatok szerint legkedvezőbb az agyagot is tartalmazó K4 jelű mészpótlóval készített habarcs szilárdsága. Ennek oka elsősorban az lehet, hogy ez az anyag éppen agyagtartalmánál fogva a vizet hosszabb ideig tarthatja magában, és így a száraz szobalevegőn tárolt habarc szilárdulása kedvezőbb körülmények között mehetett végbe.

Gyarmati Gy. [25] a Lábatlani Cementgyárban diósgyőri kohósalak és mész, illetve portlandcement keverékével ugyancsak végzett vizsgálatokat. A kísérletekhez alkalmazott habarcs a szokványos vakoló- és falazóhabarcsoknak megfelelő összetételben készült, a szükséges vízmennyiséget a felhordhatósághoz szükséges plaszticitás alapján állapították meg. A Cementgyár laboratóriumának vizsgálati eredményei az 5. táblázatban találhatók. A próbatesteket 3 napig nedves térben, azután szobalevegőn tárolták. A vizsgálati eredmények a Hejőcsabai Cementgyár már alkalmazott és megfelelő mészpótló anyagainak a szilárdságával közelítőleg megegyeznek.

5. táblázat: Diósgyőri granulált kohósalak és mész, illetve portlandcement keverékkel készített habarcskockák vizsgálati eredményei [25]

Adagolt gerjesztő	*7 napos*	*28 napos*	*90 napos*
	nyomószilárdság, kg/cm^2		
10 % $Ca(OH)_2$	58	123	182
20 % $Ca(OH)_2$	46	131	186
30 % $Ca(OH)_2$	44	131	178
5 % portlandcement	102	188	228
10 % portlandcement	137	235	252
15 % portlandcement	137	228	282

A mész-kohósalak keverékeket részletesen megvizsgálták a Braunschweig-i Műegyetemen is [27]. A kísérletek néhány következtetése érdeklődésre tarthat számot. Megállapították, hogy az optimális tulajdonságokkal rendelkező kötőanyag előállítására alapos mérlegeléssel kell kiválasztani az adott kohósalakhoz legjobban megfelelő mészféleséget. Minden kohósalak minden mészfajtával keverhető, a legnagyobb szilárdságot azonban adott kohósalak esetén csak egy mésztípussal és meghatározott keverési aránnyal lehet elérni. A legkedvezőbb szilárdsághoz 80-90 % kohósalak és 20-10 % mészmennyiség szükséges, ezzel szemben a megfelelő bedolgozhatósághoz több mész kell (25-30 %).

A kísérletek szerint ugyanis a szilárdság és a bedolgozhatóság ellentétes tulajdonságok: a salakmennyiség növekedése 90 %-ig javítja a szilárdságot, de rontja a bedolgozhatóságot. Éppen ezért – a bedolgozhatóság és a szilárdság együttes figyelembe vételével – *W. Krämer* mintegy 70-75 % kohósalak homok és 30-25 % mész adagolását javasolja [27], és azt a véleményét hangsúlyozza, hogy a legkedvezőbb mész-kohósalakőrlemény arányt minden esetben az adott mész és az adott kohósalak tulajdonságainak ismeretében egyedileg kell eldönteni. Megjegyezzük, hogy hazánkban még nem folytak ilyen irányú kísérletek, de ennek hiánya a kohósalak felhasználását nem befolyásolhatja. Ezeket a vizsgálatokat ugyanis – amennyiben szükségesnek látszik – az ipari bevezetéssel egyidőben is el lehet végezni.

Kohósalak-mész, kohósalak-mész-gipsz és kohósalak-gipsz keverékek tulajdonságait a lengyel Építéstechnikai Intézet Salakbizottsága is részleteseiben vizsgálta [28]. Ezeknek a vizsgálatoknak a végső következtetései az alábbiak voltak:

a) A cementtel javított mészhabarcsok tulajdonságai a salakos-meszes habarcsok tulajdonságainál nem kedvezőbbek, ez utóbbiak előállítása azonban lényegesen olcsóbb.
b) A salakos-meszes, salakos-gipszes, vagy a salakos-meszes-gipszes habarcsok megközelítik a tiszta cementhabarcsok tulajdonságait, ugyanakkor csak kis mennyiségű kötőanyagot tartalmaznak.
c) A gipszes-meszes-salakos habarcsok (pl. 3 % őrölt égetett gipsz, 10 % mészhidrát és 87 % kohósalak) kezdőszilárdsága jobb, mint a tiszta gipszes-salakos, vagy tiszta meszes-salakos habarcsoké.

A külföldi adatok közül végezetül megemlítjük szovjet kutatóknak azt a megállapítását [29], amely szerint a kohósalak összetételében egyedül a MgO tartalmat kell korlátozni: nem lehet több 4 %-nál. Kutatásaik szerint a kötőanyag aktivitása nagymértékben fokozható a salak és a mész együttes nedves őrlésével golyósmalomban. Ez a módszer természetesen csak telepített üzemben alkalmazható, mint ahogy pl. a Lenin Kohászati Művek salaktéglagyárában alkalmazzák is, vagy nagytömegű beton készítésekor, pl. völgyzárógátak építése során.

Összefoglalva ezek után az ÉTI, a Hejőcsabai Cementgyár, a Lábatlani Cementgyár (*Gyarmati Gy.*) és a külföldi kísérletek eredményeit, megállapítható, hogy hazai granulált kohósalakjaink alkalmazása mészhelyettesítő kötőanyagok gyártására feltétlenül bevezetendő. E kötőanyagokkal cement nélkül is nagyobb szilárdságú falazó- és vakolóhabarcsokat, vagy kisebb szilárdságú betonokat lehet készíteni. Véleményünk szerint a hazai és a külföldi kísérletek eredményei a legfontosabb kérdésekre már választ adtak, ezért további laboratóriumi vizsgálatokra nincs szükség. Kisebb módosítással ezért megismételjük azt a javaslatunkat, amelyet még 1955. évben fogalmaztunk meg [24]: a Hejőcsabai Cementgyár kezdje el 80 % granulált kohósalakot és 20 % mészhidrátot tartalmazó kötőanyag gyártását.

E javaslatunkkal kapcsolatban felhívjuk az ÉVM Építésfejlesztési Főosztály figyelmét arra, hogy a jelenlegi kohósalak termelésből az építőipar csak 8-10 %-ot hasznosít annak ellenére, hogy a kohósalak alkalmazására több kedvezőlehetőség is van: granulált állapotban kötőanyagként, duzzasztott állapotban könnyűbeton adalékanyagként használható fel. Az a véleményünk, hogy mind a granulálás, mind a habosítás berendezéseinek beruházási költsége az előállított anyag értékéhez képest olyan csekély, hogy ha közvetlen felhasználásra egyelőre nem is számíthatunk, a hazai teljes kohósalak termelés folyamatos feldolgozására haladéktalanul fel kell készülnünk. Mind a habsalak, mind a granulált salak a szabadban évekig tárolható anélkül, hogy az anyag megromlanék; a Hejőcsabai Cementgyár pl. felhasznált már három évig hányón tárolt kohósalakot is, és ez tapasztalatai szerint a friss granulált salakkal azonos minőségű volt. A külföldi példák arra intenek, hogy a kohósalakot az építőipar olyan mennyiségben tudja hasznosítani, amelyet még fejlett kohóipar sem képes kielégíteni. Például a Dunai Vasmű granulált kohósalakjának átvételéről az év elején nyugatnémet cégek tárgyaltak.

2.3. Klinkerégető kemencék szállóporának és mésznek a keveréke

A klinkerégető kemencék szállópora olyan jelentős mennyiségben termelődik, hogy felhasználására már folytak vizsgálatok. A 6. táblázatban közölt eredmények *Gyarmati Gy.*[25] kísérleteiből származnak. A 7,07 cm élhosszúságú kockapróbatesteket a szokványos falazó- és vakolóhabarcsok összetételének megfelelően készítették plasztikus habarcsból, a 2.2. pontban leírtak szerint.

6. táblázat: Klinkerégető kemence szállópora és mész keverékével készített habarcskockák nyomószilárdsága [25]

Anyag származása	*Adagolt gerjesztő*	*7 napos*	*28 napos*	*90 napos*
		nyomószilárdság, kg/cm²		
Lábatlan II. kemence	10 % $Ca(OH)_2$	13	20	98
	20 % $Ca(OH)_2$	7	15	78
	30 % $Ca(OH)_2$	5	9	67
Lábatlan III. kemence	10 % $Ca(OH)_2$	33	39	86
	20 % $Ca(OH)_2$	22	35	94
	30 % $Ca(OH)_2$	27	22	63

A vizsgálati eredmények alapján a 20 % $Ca(OH)_2$ tartalmú keverékek még elfogadható szilárdságúak, azonban a szállópor minősége a [25] szerint annyira változik, hogy alkalmazását nem vehetjük számításba.

2.4. Pernye- és mészkeverékek vizsgálata

A mészkeverékek vizsgálatával az ÉTI III/b Vegyészeti osztálya több éve foglalkozik, azonban elsősorban betonban való alkalmazhatósága szempontjából. Habarcskötőanyagként a Lábatlani Cementgyár vizsgálta, az eredményeket *Gyarmati Gy.* már idézett beszámolójából [25] vettük és a 7. táblázatban közöljük.

7. táblázat: Mészpernye keverékekkel készült habarcskockák nyomószilárdsága (Gyarmati Gy. kísérletei [25])

Anyag származása	*Adagolt gerjesztő*	*7 napos*	*28 napos*	*90 napos*
		nyomószilárdság, kg/cm²		
Tatabányai pernye	10 % $Ca(OH)_2$	50	150	180
	20 % $Ca(OH)_2$	48	129	212
	30 % $Ca(OH)_2$	38	124	202
Mátravidéki pernye	10 % $Ca(OH)_2$	79	141	170
	20 % $Ca(OH)_2$	65	131	153
	30 % $Ca(OH)_2$	31	128	183

Az adatok a korai (90 napos) szilárdságra felvilágosítást adnak ugyan, azonban a mészpernye keverékek idősebb korban esetleg bekövetkező szilárdság-visszaesése miatt – amelyre *Schütz M.* kísérletei [16] mutattak rá – ezeknek az eredményeknek az alapján még nem lehet következtetni a pernyék használhatóságára. A pernyékre vonatkozó külföldi irodalmi adatok szinte kizárólag puccolán-portlandcementes kísérletekről tájékoztatnak, így a mészpernyék szilárdulására főleg hazai adatok állnak rendelkezésünkre. Ezek azonban egyelőre csak említik az egyes mészpernyék szilárdságának a visszaesését, ennek okát azonban – erre vonatkozó kísérletek hiányában – még nem lehet meghatározni és csak találgatásokra vagyunk utalva. Az a véleményünk, hogy a mészpernyék idősebb korban bekövetkező szilárdság-visszaesésének nem külső hatások az okai (mint a természetes származású traszok esetében sem), hanem ezek az okok az anyag belső szerkezetében, ásványi összetételében keresendők. Az ÉTI III/b Vegyészeti osztály eddigi kísérletei szerint az autoklávolás, vagy a gőzölés javítja ugyan az anyag tulajdonságait, azonban még nincs elég vizsgálati adat a megnyugtató értékeléshez. A falazó- és vakolóhabarcsokat egyébként sem lehet hőérlelni.

A fenti rövid összefoglalás szerint a mészpernyék kezdőszilárdsága megfelelő ugyan, az anyag hasznosíthatóságát azonban rontja az idősebb korban esetleg bekövetkező szilárdság-visszaesés. Ezért egyelőre nem javasolható a mészpernye keverékek alkalmazása vakoló- vagy falazó-habarcsként.

2.5. Egyéb kötőanyagkeverékek vizsgálata

2.51. Anhidrit

Az anhidrit és kohósalakőrlemény, vagy portlandcement keverékét *Gyarmati Gy.* vizsgálta [25]. Gerjesztő anyagként 5-15 % kohósalakőrleményt, vagy 5-15 % portlandcementet alkalmazott, az így kapott kötőanyagkeverékekkel kockapróbatesteket készített. A legkedvezőbb keverési arányú habarcs nyomószilárdsága (5 % portlandcement, 95 % perkupai anhidrit) 7 napos korban 242 kg/cm², 90 napos korban 369 kg/cm² volt. Ezzel a keverékkel tehát igen nagyszilárdságú és ugyanakkor olcsó habarcsot lehet készíteni, hátránya azonban, hogy csak száraz környezetben alkalmazható. Felhasználása ezért csak korlátozott mértékű lehet, legfeljebb belső vakolásra alkalmas.

2.52. Agyag

Az agyag-mész keverékről csak annyit kívánunk megjegyezni, hogy az alacsony hőmérsékleten égetett mész-agyag keveréket, az ún. románcementet, már a rómaiak használták. Újabban *R. Grün*, majd *P. Budnyikov* és *J. Chvostenkov* [26] foglalkozott ezzel az anyaggal. Megállapították, hogy az agyag optimális égetési hőfoka 500-800 °C, míg 900 °C fölött égetve minden puccolános tulajdonságát elveszíti. Mivel a téglaégetés hőfoka 950-1000 °C [30], ezért a téglatörmelék és mész keverékéből aligha lehet kielégítő puccolános habarcsot készíteni.

A román cementtel annakidején hazánkban igen kedvező tapasztalatokat szereztek, külföldön még ma is sok helyen gyártják.

3. A KÍSÉRLETEK EREDMÉNYEINEK AZ ÉRTÉKELÉSE

A cementmentes vakoló- és falazóhabarcsok hazai és külföldi vizsgálataiból csak néhány számszerű eredményt közöltünk, mert az erről szóló értekezések hozzáférhetők, így részletesebb ismertetésük felesleges. Az adatokat és a kutatási eredményeket úgy igyekeztünk csoportosítani, hogy az anyagokat egymással össze lehessen hasonlítani. Az eredményeket három szempont alapján kívánjuk értékelni:

3.1. ama cementmentes vakoló- és falazóhabarcs-keverékek felsorolása, tulajdonságaik összehasonlítása, amelyek hazánkban számításba vehetők;

3.2. a habarcskötőanyagok minősítő vizsgálatának alapelvei;

3.3. a habarcskötőanyagok építőipari felhasználása.

Az eredmények értékelése során ismertetjük javaslatainkat a kötőanyagkeverékek gyártására, minősítésére és felhasználására.

3.1. Hazai kötőanyagkeverékek

A 2. pontban felsorolt kísérleti adatok és eredmények alapján az alábbiakat lehet megállapítani:

3.11. 28 napos nyomószilárdság szempontjából legkedvezőbb a 10-15 % portlandcementet és 85-90 % granulált kohósalakőrleményt, illetve az 5 % portlandcementet és 95 % perkupai anhidritet tartalmazó keverék. E habarcsokhoz képest kb. 45 %-kal kisebb 28 napos nyomószilárdságot lehet elérni a következő kötőanyag-keverékekkel:

- 20 % mészhidrát és 80 % kohósalak őrlemény,
- 10 % mészhidrát és 90 % pernye,
- 42 % őrölt égetett mész, 3 % őrölt égetett gipsz, 55 % kedvező minőségű trasz,
- 10 % őrölt égetett mész, 5 % őrölt égetett gipsz, 85 % kohósalakőrlemény,
- 10 % klinkerőrlemény, 90 % kohósalak őrlemény.

3.12. A fenti anyagok közül a lábatlani Cementgyárban pernyével, kohósalakőrleménnyel és anhidrittel készült keverékekkel, az ÉTI-ben bodrogkeresztúri riolittufából őrölt trasszal, míg egy miskolci építkezés felvonulási épületein a 2.2. pontban leírt, a hejőcsabai Cementgyár által előállított mészpótló anyagokkal készítettek nagyobb felületű vakolatokat.

A lábatlani Cementgyárban lefolytatott kísérleti vakolás *Gyarmati Gy.* közlése szerint [25] kedvező tapasztalatokkal járt, az anyagokat könnyen lehetett felhordani és tapadásuk is kifogástalan volt.

Az ÉTI kísérletei során a bodrogkeresztúri riolittufából készített mészpuccolánnal a tatabányai 3. sz. Betonelemgyár tufabetonblokkokból készített irodaépületének egy részét vakolták be 1957 novemberében, kedvezőtlen időjárás mellett (hideg, szeles idő, éjszaka fagypont alatti hőmérséklet). A vakolat eddigi, fél éves megfigyeléseink szerint kifogástalan.

A hejőcsabai Cementgyárban készített mészpótló anyagokkal egy miskolci építkezés felvonulási épületeit vakolták be. A felvonulási épületeket az építkezés befejezte után nem bontották le, így a vakolatról már mintegy 4 éves kedvező tapasztalatok állnak rendelkezésre. Ugyancsak a hejőcsabai H3 jelű mészpótló anyaggal azonos összetételben készítette el *Nagy István*, a hejőcsabai Cementgyár ny. laborvezetője, miskolci családi házának külső és belső vakolatát, amelyet 1958. május 13-án, kiszállásunk alkalmával, megszemlélhettünk. Az ezen a vakolaton szerzett két éves tapasztalatok ugyancsak kedvezőek: repedésmentes, szilárdsága és tapadása kifogástalan.

3.13. A felhasználható anyagok beszerezhetőségét, az előállítás módját és energiaszükségletét, valamint a kötőanyag keverék önköltségét tekintetbe véve elsősorban a 20 % mészhidráttal és 80 % granulált kohósalakkal, illetve a 10 % portlandcementtel és 90 % granulált kohósalakkal készült kötőanyag keverékek gyártását javasoljuk ipari méretekben. Tekintettel arra, hogy a hejőcsabai Cementgyár 1954. évben már gyártott kisebb mennyiségű, fenti összetételű, megfelelő minőségű kötőanyagkeveréket, az ipari gyártás megkezdésére a hejőcsabai cementgyárat célsze-

rű kijelölni. Megfontolásra érdemesnek tartjuk ezenkívül a Dunai Vasmű **teljes** kohósalak-termelésének feldolgozására habosító és gyártó üzemet létesíteni, amely a granulált salakból ugyancsak a fenti összetételű kötőanyagkeveréket állítaná elő.

Vulkáni hegyvidékeink közvetlen környékén számításba vehető 42 % őrölt égetett meszet, 3 % őrölt égetett gipszet és 55 % traszt tartalmazó kötőanyag keverékek kisüzemi előállítása, amely helyi kötőanyagként volna hasznosítható. A trasszal készült mészpuccolán gyártása a kohósalakos keverékek előállításához képest azért hátrányosabb, mert a tufát őrlés előtt szárítani kell.

Amíg a kötőanyagkeverékek üzemi gyártására felkészülünk, granulált kohósalakőrleményt kell forgalomba hozni. Az őrleményt az építéshelyen kell mészhidráttal vagy mészpéppel összekeverni. A granulált kohósalak őrlemény gyártását ideiglenesen a Hajőcsabai Cementgyár végezhetné.

A pernyével, illetve a perkupai anhidrittel készített kötőanyagkeverékek gyártását – a 2.4., illetve a 2.31. pontokban felsoroltak alapján – nem javasoljuk.

3.2. Kötőanyag keverékek minősítő vizsgálata

3.21. A jelenlegi szabvány kritikája

A trasszal készült mészpuccolánok vizsgálatára vonatkozó megjegyzéseinket részletesen kifejtettük az 1.3. pontban. Ennek alapján megállapíthatjuk, hogy az MSZ 4706-53 „Savanyú hidraulikus cementkiegészítő anyagok" c. szabvány vizsgálati előírásai nem alkalmasak a puccolános tulajdonságú anyagok minősítésére, mert

a) az alkalmazott adalékanyag durva normálhomok, amely finom részeket egyáltalán nem tartalmaz és így a puccolán egy része finom adalékanyagként viselkedve növeli a tömörséget. A tömörség növekedését okozó puccolán mennyisége nem állapítható meg s ez vizsgálati bizonytalanságot okoz;

b) a szabványos habarcs konzisztenciája túlságosan száraz, amilyet a gyakorlatban a legritkább esetben alkalmazhatunk;

c) csak azonos földnedves konzisztenciájú habarcs vizsgálatát írja elő, holott a plasztikus konzisztenciájú habarcsoknak a földnedves konzisztenciájú habarcsokhoz viszonyított szilárdsága puccolánfajtánként változó, mivel a puccolánok vízérzékenysége eltérő. Ezt a lényeges tulajdonságot tehát a szabvány nem veszi figyelembe;

d) a kötőanyag keverékben kötött a mész-puccolán arány, márpedig a különböző származású puccolánok mészigénye különböző, vagyis a legnagyobb habarcsszilárdságot, egyébként azonos körülmények között, különböző mész:puccolán arány mellett lehet elérni;

e) a vizsgálati próbatestek elkészítéséhez alkalmazott, az MSZ 523-53 szerinti tömörítési módszer a gyakorlattól teljesen eltérő;

f) megállapítható volt, hogy egyes traszhabarcsok szilárdsága idősebb korban tetemesen visszaesik. Ezt a jelenséget viszont a szabvány nem vizsgálja;

g) a portlandcementhez keverhető puccolán minőségét nem lehet ugyanazzal a módszerrel megállapítani, jellemezni, mint a mészpuccolánként alkalmazott puccolán minőségét;

3.22. Javasolt minősítési módszer

Kísérleteink alapján a traszanyagok minősítésére javasolt vizsgálati eljárást [11] bizonyos módosítással egyéb anyaggal készült mészpuccolán vizsgálatára is bevezethetőnek tartjuk. Az alkalmazott adalékanyagot célszerűnek tartanók az új, ajánlott nemzetközi szabvány előírásai szerint összeállítani [31] a 8. táblázatnak megfelelően.

8. táblázat: A minősítő vizsgálathoz javasolt adalékanyag-szemmegoszlás

Szemnagyság, mm	*Súlyszázalék*
0 – 0,08	3 ± 1
0,08 – 0,15	10 ± 2
0,15 – 0,50	21 ± 3
0,50 – 1,00	34 ± 4
1,00 – 1,70	27 ± 5
1,70 felett	5 ± 5

A vizsgálati habarcs kötőanyagtartalma 400 kg/m^3 legyen, a kötőanyag összetétele a 3.11. pontban megadottnak megfelelő, tehát olyan, mint amilyet a gyakorlatban is alkalmaznak. A készítési vízmennyiséget úgy kell megválasztani, hogy a habarcs MSZ 523-53 szerinti rázóasztalon mért terülése 15 cm és 20 cm legyen. A készített próbatestek mérete 4×4×16 cm-es hasáb, tömörítése ugyancsak az új, ajánlott nemzetközi cementszabványnak megfelelő rázóasztalon 50 rázással.

Tárolás: 7 napig nedves térben (95-98 % relatív páratű klímateremben. Vizsgálandó a 7 és 28 napos nyomó- és hajlítószilárdság, valamint a hosszváltozás mértéke 7 és 28 nap között.

A vakolatok építéshelyi ellenőrzésére célszerűnek tartanánk az YTONG-falak vakolattapadási vizsgálatára szerkesztett készülék alkalmazását [32]. E készülék lényege a következő:

Megfelelő vágóberendezéssel a vakolatra merőleges irányban 50 cm^2 felületű körkerületet fúrnak és a befoglalt körlapra műgyantával kb. 10 mm vastag fémtárcsát ragasztanak. Ezután dinamométer közbeiktatásával a fémtárcsával együtt a kivágott vakolatdarabot a falról leszakítják. A dinamométeren leolvasható a szakítóerő, és így a tapadószilárdság számítható. A szerkezet egyszerű, könnyen szállítható, helyszíni ellenőrzésre ezért jól alkalmazható.

3.3. A habarcskötőanyagok felhasználása

A 3.13. pontban felsoroltuk azokat a kötőanyagokat, amelyeknek a gyártását minél előbb el kellene kezdeni. Újólag hivatkozunk az 1.1. pontban közölt adatokra: a jelenleg használatos habarcsösszetételek kötőanyagának előállításához rendkívül nagymennyiségű hőenergia szükséges. Ha összehasonlítjuk pl. a H10 f/150 habarcs eddig alkalmazott kötőanyagának az előállításához felhasznált hőenergia mennyiségét az általunk javasolt 20 % mészhidrátot és 80 % őrölt granulált kohósalakot tartalmazó kötőanyagkeverék gyártásához szükséges hőenergia mennyiségével, akkor az alábbi adatokat kapjuk:

Az eddig alkalmazott H10 f/150 jelű habarcs összetétele: 125 kg/m^3 égetett mész és 175 kg/m^3 500-as portlandcement. E kötőanyag mennyiség gyártásához kb. 600000 kcal szükséges. Az általunk javasolt kötőanyag keverékből 300 kg/m^3 adagolás elegendő, ebben 60 kg mészhidrát és 240 kg őrölt granulált kohósalak van. A 60 kg mészhidrát gyártásához kb. 130000 kcal, a 240 kg granulált kohósalak őrléséhez kb. 30000 kcal szükséges, összesen tehát kb. 160000 kcal. Ebből következik, hogy a javasolt kötőanyag keverékkel minden m^3 habarcsban kb. 440000 kcal hőenergia (kb. 2 mázsa 2200 kalóriás szén) takarítható meg, ezzel szemben a készítési technológiája nehezebb, mert a habarcs kezdetben erősen zsugorodik és a nem nedvesen utókezelt vakolat megrepedezik.

Amíg a nagyüzemi gyártás megindítása nem lehetséges, addig is feltétlenül be kell rendezkedni a granulált kohósalak őrlésére, és az őrölt kohósalakot az építkezés helyszínén kell a szükséges mennyiségű mészhidráttal, vagy mészpéppel összekeverni. A gyári termelés megindításáig ki kell jelölni egy budapesti építőipari vállalatot, hogy felvonulási és egyéb ideiglenes jellegű épületeit ezzel a kötőanyag keverékkel falazza és vakolja. E munkát az ÉTI – a Zárójelentés Tudományos Tanácsban történt tárgyalása során hozott határozta értelmében – később elkészítendő terve szerint irányítaná. Ezzel a kötőanyag keverékek általános bevezetéséig a falazási és a vakolási munkák végrehajtására

kellő tapasztalatot lehetne szerezni és ennek során a nedvesen tartás megfelelő módját is ki kell alakítani.

Az ÉM Építésfejlesztési Főosztály részére az új habarcskészítési eljárásra való áttéréssel az alábbi ütemezést javasoljuk:

a) Ipari méretű technológiai kísérletek elvégzése az ÉTI irányításával, gyakorlati szakemberek bevonásával, az ÉM által erre a célra kijelölt budapesti építőipari vállalat építkezéseinél, az 1958. július 15-ig elkészítendő munkaterv alapján. A munkák befejezésének a határideje: 1959. szeptember 30.

b) A fenti kísérletek elvégzése után ideiglenes Műszaki Előírás készítése a kötőanyag keverékes habarcsok készítésére. A cementmentes habarcsok általános bevezetése az építőipari vállalatok felvonulási és egyéb ideiglenes jellegű épületeinek falazására és vakolására. Határidő: 1960. március 15.

c) A kötőanyag keverék, vagy kötőanyag keverékes habarcs nagyüzemi gyártásának megtervezése. Igen figyelemre méltó *Székely Ádámnak* a Zárójelentés Tudományos Tanácsban lefolyt tárgyalásakor kifejtett véleménye: nagyobb építkezéseink központjában habarcsgyárakat kell létesíteni, amelyek granulált kohósalakot és égetett meszet dolgoznak fel kötőanyaggá, illetve ebből a kötőanyagból habarcsot állítanak elő, amelyet megfelelő szállítóeszközben (pl. dömperekben) az építkezések helyszínére szállítanak. Ugyanezek a habarcsközpontok az előállított kötőanyag egy részét zsákolva hozhatják forgalomba, amellyel más területeken lévő építkezéseket láthatnak el. Határidő: 1962. II. negyedév.

IRODALOM

1/ MÉ-19-54. Müszaki Előirás betonok és habarcsok készitésére. Bp., 1954. 124-135.lap.

2/ Sz.A.Andrejev: Falazott szerkezetek tervezése és számitása. Bp. 1953. 72-77 lap.

3/ O.Graf: Baustoffe und ihre Eigenschaften. Dr.Ing. F.Schleicher: Taschenbuch für Bauingenieure. Berlin. 1943. 366-368.lap.

4/ Székely Ádám: Az épitőanyagok hőenergia szükségletéből levonható következtetések. Magyar Épitőipar. 1957. 5-6. szám. 233-236.lap.

5/ Msz 4706-53 szabvány: Savanyu hidraulikus cementkiegészitő anyagok.

6/ H.Kühl.: Zement-Chemie. Berlin. 1951.II.kötet.607-624.lap.

7/ W.Eitel: Physikalische Chemie für Silikaten. Berlin. 1941. 2.kiadás. 765-770.lap.

8/ Wessely Imre: A trasz értékelése és felhasználása. Bp.1924.

9/ Über die Herstellung von künstlichen Puzzolanen. Referatum. Tonindustrie Zeitung. 1936.nov.30. 1183-1186.lap.

10/ Bereczky Endre: Hidraulikus cementkiegészitő anyagok szilárdulásával kapcsolatos anyagszerkezeti kérdések. Épitőanyagok. 1956.3.szám. 82-89.lap.

11/ Ujhelyi János: A tufa épitőipari felhasználása. Épitőanyag. 1957.6.szám. 298-310.lap.

12/ Dr.F.Parissi-H.Straub: Pozzolan als Bindemittel und Zusatzstoff. Schweizerischer Bauzeitung. 1953.jul.18.

13/ Ujhelyi János: A traszanyagok vizsgálatának módszereiről. Épitőanyag. 1957.2. 80-89.lap.

14/ P.N.Grigorjev: A mész alkalmazása az épitőiparban. Bp.1953. /Forditás/.

15/ L.D.Ersov: A mészpuccolóáncementek légállósága. Ukrain.-Him. Journ. 1951-17-463-71. /Forditás./

16/ Schütz Mihály: A salak és pernyebetonok időállóságának kérdéseiről. Előadás az ÉTI Tudományos Tanácsában. 1958.II.28.

17/ W.Piepenburg: Versuche zum Festigkeitnachweis für Baukalke. Zement-Kalk-Gips. 1951.2.szám.

18/ W.Piepenburg: Versuche zum Geschmeidigkeitsnachweis für Baukalke. Zement-Kalk-Gips. 1952.2.szám.

19/ Gáspár Géza: Jelentés a Vizmüvek részére végzett traszkisérletekről. Kézirat. 1936.

2o/ R.Feret: Internat. Kongress.f.Angew.Chemie; London.19o9.

21/ H.Hart.: A rajnai trasz anyagának kémiájáról. Toniндustrie Zeitung. 1931.5.65-84.lap.

22/ dr.Löw Márton: Hazai traszainkról. Anyagvizsgálók Közlönye. 1937.4.szám. 139-152.lap.

23/ Dr.Árkossy K.-Grofcsik J.-Vágó E.: A természetesen előforduló hidraulikus anyagok lekötésénél végbemenő folyamatok. A NEVIKI 5 éve. Veszprém. 1955.274-282.lap.

24/ Gáspár Géza-Ujhelyi János: A hejőcsabai Cement és Mészmüvek által előállitott mészpótló anyagok vizsgálata. ÉTI jelentés. 1955. VI.15.

25/ Gyarmati Gyula: Mészhelyettesitő kötőanyagok. Építőanyag. 1955.1o.szám. 391-396.lap.

26/ P.P.Budnyikov-S.J.Chvostenkov: Ermittlung der günstigsten Bedingungen zur Herstellung von Baustoffe aus Kalk und Ton. Silikattechnik. 1955.ápr.4.

27/ W.Krämer: Über den Einfluss des Zusatzes von Hochofenschlackensand auf Festigkeit und Verarbeitbaskeit von Baukalken. Zement-Kalk-Gips.1955.febr.

28/ A.Bolevski-A.Gruszcsik-Z.Jodlowski: Vegyes salak kötőanyagok. Az Építéstechnikai Intézet Salakbizottságának jelentése 195o.Varsó. /Forditás./

29/ P.P.Budnyikov-V.M.Jung-I.M.Butt: A salakcementek szilárdulási folyamatának aktivizálása.Moszkva.1952. /Forditás/

3o/ Grofcsik J.: Tégla és tetőcserép.Varga-Polinszky: Kémiai technológia. II.kötet. Bp.1953. 257-258.lap.

31/ Internationale Normen für Zemente, Silikattechnik,1958. 1. szám. 4o-41.lap.

32/ G.Schönbrunn-Dr E.Vocke: Messung der Putzhaftfestigkeit auf YTONG-Wänden. Betonstein-Zeitung. 1957.9.szám. 658-66o.lap.

Építőanyag, 1959. 12. pp 429-440

KOHÓHABSALAKBETONOK*

Ujhelyi János

Szerző azokat a kísérleteket, amelyeknek eredményeit e tanulmányban dolgozta fel, az Építéstudományi Intézetben végezte. A kísérletek eredményei alapján decemberben jelent meg az Építésügyi Minisztérium ideiglenes Műszaki Előírása a kohóhabsalakbetonok összetételének tervezésére, a beton készítésére és ellenőrzésére. Jelen tanulmány célja az ideiglenes Műszaki Előírás alkalmazói számára ennek az új építőanyagnak a felhasználásához segítséget nyújtani. A tanulmány a Szilikátipari Kutatók V. Konferenciáján 1959 szeptemberben elhangzott rövidített előadás részletes anyag.

1. A kohósalak habosítása és a habsalak minősége

A habosított, duzzasztott kohósalak (a továbbiakban röviden: habsalak) a mesterséges könnyűbeton adalékanyagok egyik leggazdaságosabban előállítható fajtája. Építőipari felhasználása világszerte állandóan fokozódik, a kohósalak mennyisége ugyanis a termelt nyersvashoz viszonyítva nagyon jelentős.

A habsalakot (Hűttenbims, slakovaja pemza, blast furnace slag, laitier expansé) a vasolvasztóból kikerülő, kb. 1300 °C hőmérsékletű izzó kohósalakból állítják elő úgy, hogy a folyós salakot kis vastagságú víztükörre öntik, vagy vízgőzzel hozzák érintkezésbe. A habosításra szolgáló berendezések a primitív, ún. gödör-módszerből [1] fejlődtek ki a legmodernebb eszközökig [2]. Hazánkban először az ózdi Kohászati Művek állított elő habsalakot gödör-módszerrel. Az üzemi méretű habsalak gyártás akkor kezdődött, amikor az ÉTI Sztálinvárosban perforált vaslemezes öntőággyal végzett kísérletei eredménnyel zárultak és elkészült az első – folyamatos öntésre alkalmas – vaslemezes öntőtálca [3].

Szerző az Építéstudományi Intézet Beton- és habarcs osztályán 1956-58 években a sztálinvárosi kísérleti gyártású habsalakkal végezte betontechnológiai kísérleteit, amely szerint a habsalak adalékanyag 1000-2000 kg/m^3 készítési (900-1800 kg/m^3 száraz) térfogatsúlyú, BK10 – BK280 minőségű könnyűbetonok előállítására alkalmas.

A habsalakbeton tehát felhasználható kézielemek, közép- és nagyblokkok (falpanelek), födémelemek, egyszemcsés öntöttbetonok és egyéb vasalatlan könnyűbeton szerkezetek készítésére. A habsalakbeton vasalására egyelőre nincsenek egyértelműen pozitív eredményeink, azonban remélhető, hogy az ÉTI-ben folyó kísérletek alapján még ez évben kedvező eredményekről számolhatunk be.

A habsalakbeton tehát nagy területen alkalmazható, emiatt, valamint az adalékanyagnak a szokásos betonadalékanyagtól (homokos kavics, zúzottkő) eltérő tulajdonságai miatt a technológiai problémák sokrétűek. Kísérleteink során igyekeztünk minden lényeges kérdést tisztázni, így vizsgálataink szerteágazóak, amelyek teljes feldolgozása az ÉTI 6. sz. Zárójelentésében található meg [4]. A habsalakkal készített könnyűbetonok technológiájának ismertetése már csak azért is időszerű, mert jelenleg az ÉTI sztálinvárosi habsalakgyártó üzeme havi 2000 m^3 habsalakot készít, az ózdi habsalakgyár ennek kb. a felét, de jövő év végére A Sztálinvárosban beállítandó külföldi berendezés termelése havonta ~ 20000 m^3 lesz.

A könnyűbeton adalékanyagok, így a habsalak jellemzésére is elsősorban az anyag halmaztérfogatsúlyát, önszilárdságát és pórustartalmát kell megállapítanunk.

A habsalak *halmaztérfogatsúlyát* 7-15 mm-es, 105 °C hőmérsékleten súlyállandóságig szárított szemcséken, 10 literes hengeres mérőedényben mérjük (MSZ 4713). A Sztálinvárosban (Dunaújváros!) jelenleg gyártott habsalak halmaztérfogatsúlya 600-800 g/l (kg/m^3)

---

* Az V. Szilikátipari Konferencián elhangzott előadás

között változhat. Eddigi vizsgálataink szerint a téli-tavaszi hónapokban az átlagos halmaztérfogatsúly 750 g/l (700-800 g/l), a nyári-őszi hónapokban átlagosan 650 g/l (600-700 g/l). A habsalak halmaztérfogatsúlya tehát hosszabb időtartamon belül is eléggé egyenletes. Tájékoztatásul közöljük, hogy egy 750 g/l halmaztérfogatsúlyú habsalakból készített, 30 % finomrész tartalmú (0-1 mm) adalékanyag keverék halmaztérfogatsúlya – ugyancsak szabványos 1 literes mérőedényben mérve – 1100 g/l. Kevesebb finomrész tartalom mellett az adalékanyag keverék halmaztérfogatsúlya csökken, több finomrészt tartalmazó adalékanyag keveréké növekszik.

A könnyűadalékanyagok *önszilárdságának* vizsgálatára többféle módszer ismeretes [5]. E módszerek általában a szemcsés adalékanyag összenyomhatóságát, aprítódását stb. mérik adott vagy változó nagyságú statikus vagy dinamikus terhelés alatt. Kedvező eljárásnak bizonyult az ún. Hummel-féle szétmorzsolódási tényező vizsgálata [6]. A szétmorzsolódási tényező a 7-15 mm-es száraz adalékanyag szemcsék 1, 3 és 7 mm-es szitán mért finomsági modulusának (ennek értéke: 3,0) és ugyanezen a szemcsék 5 tonna statikus terhelés alatti elmorzsolásával előállított halmaz 1, 3 és 7 mm-es szitán mért finomsági modulusának a különbsége. A sztálinvárosi ÉTI habsalak üzemben készített termék szétmorzsolódási tényezője 0,7-1,3 között ingadozik.

Vizsgálataink szerint a habsalak halmaztérfogatsúlya (L) és szétmorzsolódási tényezője (S) között szoros összefüggés áll fenn, amely az

$$S = 3{,}058 - 0{,}0029 \times L$$

képlettel jellemezhető [4]. Ebből a képletből adott halmaztérfogatsúly esetén a szétmorzsolódási tényező a gyakorlat számára megfelelő pontossággal becsülhető.

A habsalak *pórustartalmát* az anyag fajsúlyából és térfogatsúlyából az ismert módon határozzuk meg (MSZ 4713). Megkülönböztetjük az egyes szemcsék pórustartalmát (szemcsepórustartalom, Korneigenporigkeit) és az adott szemszerkezetű habsalak összes pórustartalmát (halmazpórustartalom, Haufwerksporigkeit). Ez utóbbiba az egyes szemcsék közötti levegő is beszámítódik. A sztálinvárosi habsalak szemcsepórustartalma – a halmaztérfogatsúlytól függően – 40-60 térfogat % között változik.

A habsalak adalékanyag felsorolt jellemzői (Halmaztérfogatsúly, önszilárdság, pórustartalom) befolyásolják elsősorban a friss és a megszilárdult habsalakbeton tulajdonságait.

2. A habsalakbeton nyomószilárdságát és térfogatsúlyát befolyásoló tényezők

A habsalakbeton, mint általában a könnyűbetonok, vagy csak hőszigetelő elemként, vagy hőszigetelő és teherhordó elemként, vagy csak teherhordó szerkezetként alkalmazható. Egy-két kivételtől eltekintve főleg közepes szilárdságú (BK50-BK140) betonok, vagy kisszilárdságú (BK10-BK25) hőszigetelő betonok készítésére használják fel. Megjegyzendő, hogy az USA-ban, ahol a habsalakot már 1930 óta alkalmazzák, BK500-BK700 minőségű habsalakbetonokat is készítenek [7]. Eddigi laboratóriumi vizsgálataink és néhány építkezésen szerzett gyakorlati tapasztalataink szerint habsalak adalékanyaggal hazánkban BK10-BK200 minőségű betonok még gazdaságos körülmények mellett készíthetők.

A habsalakbeton szerkezetek tervezése során természetesen figyelembe kell venni az ebben a fejezetben tárgyalt tényezőket, nevezetesen azt, hogy a különböző szilárdsági kategóriába tartozó habsalakbetonokat milyen cementadagolással, milyen térfogatsúllyal, milyen tömörítéssel stb. lehet előállítani. Ennek alapján dönthető el az alkalmazott betonminőség gazdaságossága.

A tárgyalt kísérletekből levont következtetések és szabályok csak a hazánkban szokványos módszerekkel készített habsalakbetonokra vonatkoznak. A könnyűadalékanyagos betonok készítésének a fejlődése lehetővé teszi, hogy a jövőben kedvezőbb minőségű habsalakbetonokat is készíthessünk. Ehhez azonban szükséges, hogy a betonkiegészítő anyagok ipari gyártását is megoldjuk, vagy külföldről hozzuk be az ott már kipróbált anyagokat (plasztifikáló, légpórusképző stb.).

A könnyűbetonok, így a habsalakbetonok készítése során is különös tekintettel kell lennünk arra, hogy betartsuk a beton előírt készítési térfogatsúlyát. Nem lehet elegendő nyomatékkal hangsúlyoznunk azt, hogy bár általában a könnyűbeton térfogatsúlya a beton nyomószilárdságát nem határozza meg egyértelműen, adott összetételű és készítésű könnyűbetonnal csak akkor lehet az adott betonszilárdságot elérni, ha az előírt térfogatsúlyt is betartottuk.

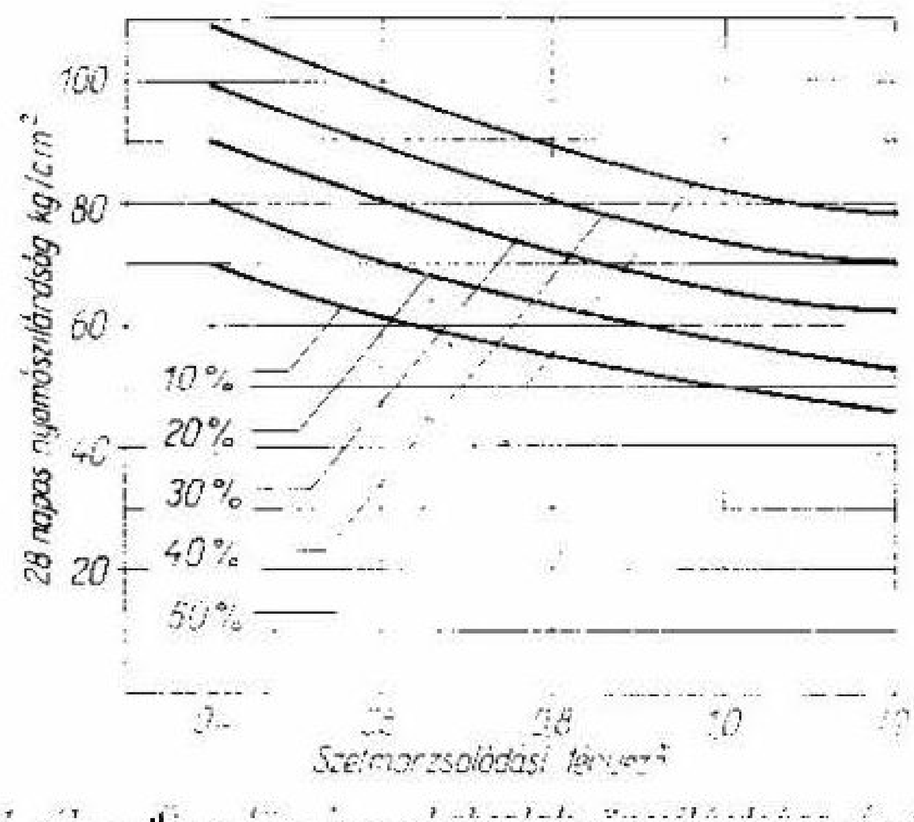
A habsalakbeton nyomószilárdságát és térfogatsúlyát a következő tényezők befolyásolják:

- az adalékanyag halmaztérfogatsúlya és önszilárdsága,
- az adalékanyag szemszerkezete,
- a cement minősége és mennyisége,
- a vízadagolás mértéke,
- a keverőgép fajtája és a keverés módja,
- a beton bedolgozásának eszköze és módja,
- a beton utókezelése.

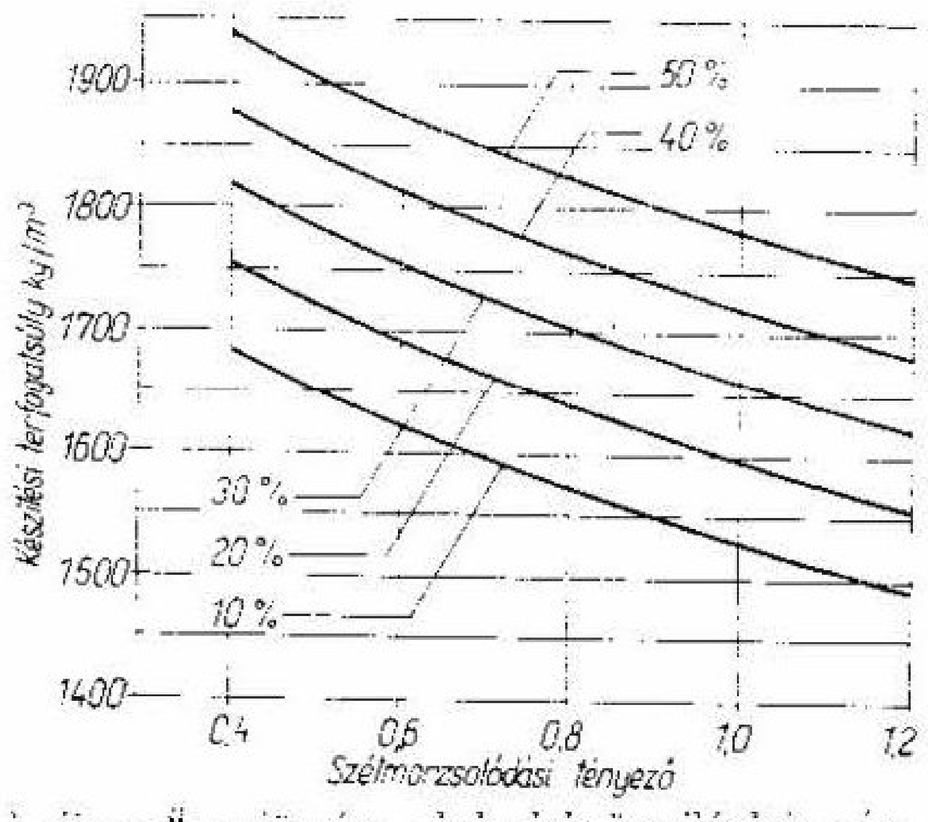
2.1. Az adalékanyag halmaztérfogatsúlya és önszilárdsága

A habsalak halmaztérfogatsúlya és szétmorzsolódási tényezője – mint ahogyan ezt az 1. fejezetben említettük – egymással szorosan összefügg. Azok az eredmények, amelyek a habsalak önszilárdságának, valamint térfogatsúlyának összefüggésére vonatkozó vizsgálatokból származnak, általánosíthatók, tehát a habsalak halmaztérfogatsúlyától hasonlóképpen függ a készített beton nyomószilárdsága és térfogatsúlya is.

Az 1.ábrán látható a habsalak szétmorzsolódási tényezőjének és a beton 28 napos nyomószilárdságának összefüggése különböző finomrésztartalmú habsalak adalékanyag alkalmazása esetén.



1. ábra: Összefüggés a habsalak önszilárdsága és a be-be-ton nyomószilárdsága között különböző finomrésztar-rész-talmú (0-1 mm szemnagyságú) adalékanyag esetén.....

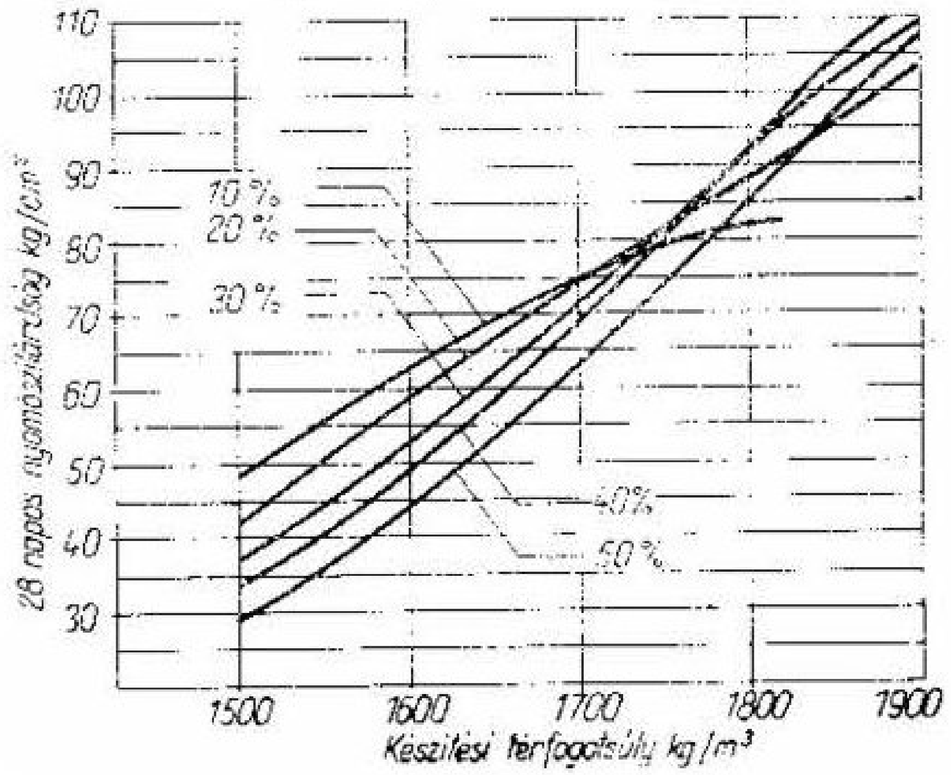


2. ábra: Összefüggés a habsalak önszilárdsága és a ton készítési térfogatsúlya között különböző finom-....tartalmú (0-1 mm-es) adalékanyag esetén

A kísérletekhez 250 kg/m^3 500-as tatai portlandcement adagolású, 30 % tömörítési fokú (lásd 2.5. fejezetet) habsalakbetonokat készítettünk kényszerkeverőgépben. A betont 7 napig 18-20 °C hőmérsékletű térben állandóan nedvesen tartottuk, majd törésig 18 5C hőmérsékletű, 70 % relatív nedvességtartalmú térben tároltuk. Az ábra szerint, ha a szétmorzsolási tényező 0,4 értékről 1,2 értékre emelkedik (a halmaztérfogatsúly 900 kg/m^3-ról 600 kg/m^3-re csökken), akkor az adott összetételű és készítésű beton szilárdsága 40-50 %-kal csökken.

A 2.ábrána habsalak szétmorzsolási tényezőjének és a beton készítési térfogatsúlyának összefüggését tüntettük fel különböző finomrész tartalmú habsalak adalékanyag alkalmazása esetén. A kísérleteket ugyanazokkal a betonkeverékekkel végeztük, mint az 1. ábra esetében.

Az eredmények szerint, ha a szétmorzsolódási tényező 0,4-ről 1,2-re emelkedik (a halmaztérfogatsúly 900 kg/m^3-ről 600 kg/m^3-re csökken), akkor az adott összetételű és készítésű beton készítési térfogatsúlya – a beton összetételétől függően – 11-14 %-kal csökken.



3. ábra: Különböző szétmorzsolódási tényezőjű, 30 % 0-1 mm-s részt tartalmazó habsalakkal készített, 250 kg/m^3 500-as tatai portlandcement adagolású betonok készítési térfogatsúlyának és nyomószilárdságának az összefüggése

Az 1. és 2. ábra szerint a habsalakbeton nyomószilárdsága és készítési térfogatsúlya a habsalak adalékanyag szétmorzsolódási té-nyezőjével fordítva, halmaztérfogatsúlyával e-gyenesen arányos. Általában az a meggyőző-dés alakult ki világszerte, hogy a könnyűbeto-nok, és így a habsalakbeton készítési vagy száraz térfogatsúlya is egyenesen arányos – összetételtől függetlenül – a nyomószilárdság-gal. Ennek ellenőrzése érdekében a 3. ábrán felrajzoltuk a különböző szétmorzsolódási tényezőjű, 30 % 0-1 mm-es részt tartalmazó adalékanyaggal és 250 kg/m^3 tatai 500-as portlandcementtel készített betonok készítési térfogatsúlyának és 28 napos nyomószilárdsá-gának az összefüggését. A betonokat kény-szerkeverőgépben kevertük, és 7 napig nedve-sen tartottuk, majd klímateremben tároltuk (lásd az 1.ábrával kapcsolatos betonkísérleteket).

A 3. ábra szerint, ha az adott összetételű habsalakbeton készítési térfogatsúlya 1700 kg/m^3 alatt van, akkor a beton 28 napos nyomószilárdsága azonos betontérfogatsúly mellett egyenesen arányos a szétmorzsolási tényezővel, tehát fordítva arányos a halmaztérfogatsúllyal. Például 1600 kg/m^3 készítési térfogatsúly esetén S = 0,4 szétmorzsolódási tényezőjű (900 g/l halmaztérfogatsúlyú) habsalakkal adott esetben 45 kg/cm^2, S = 1,2 szétmorzsolási tényezőjű (kb. 600 g/l halmaztérfogatsúlyú) habsalakkal adott esetben 58 kg/cm^2 28 napos kockaszilárdságú beton készíthető.

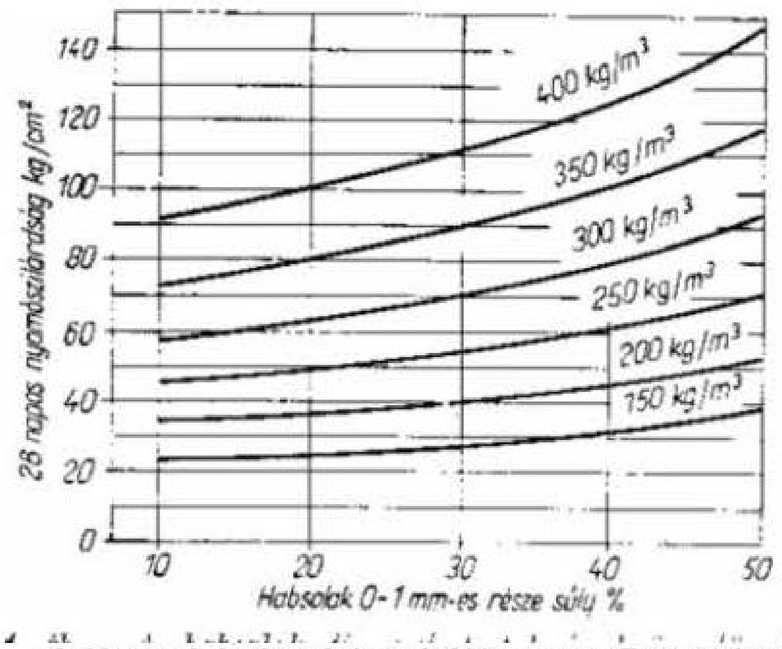
Ha a beton készítési térfogatsúlya 1900 kg/m^3, akkor az adott összetételű habsalakbetonok közül a legnagyobb szétmorzsolódási tényezőjű (legkisebb halmaztérfogatsúlyú) adalékanyaggal készített beton szilárdsága a legkisebb s a görbék irányából egyértelműen megállapítható, hogy 2000 kg/m^3 készítési térfogatsúly esetén éppen megfordul az 1500-1600 kg/m^3 készítési térfogatsúly mellett tapasztalt sorrend.

Érthetővé válnak ezek az eredmények, ha a 2.5. fejezetben a tömörítés eredményeit is megismerjük. Elöljáróban annyit jegyzünk meg, hogy a kisebb halmaztérfogatsúlyú adalékanyaggal készített betont, egyébként azonos összetétel mellett, jobban kell tömöríteni ahhoz, hogy azonos készítési térfogatsúlyt érhessünk el, mint a nagyobb halmaztérfogatsúlyú adalékanyaggal készített betont. A tömörítés hatása erőteljesebb 1700 kg/m^3 készítési térfogatsúly alatt, mint az adalékanyag önszilárdságának (halmaztérfogatsúlyának) a hatása, fölötte viszont az adalékanyag önszilárdságának a hatása válik jelentősebbé.

Fel kell hívnunk továbbá a figyelmet arra is, hogy a gyakorlatban az abszolút értékek és a fajlagos értékek fogalma sokszor összekeveredik. Az 1., illetve a 2. ábrában a nyomószilárdság, illetve a térfogatsúly abszolút értékeinek az alakulása látható, míg a 3.ábrában a térfogatsúly és a nyomószilárdság egymáshoz viszonyított, fajlagos értékeinek az alakulását rajzoltuk meg. A nyomószilárdság és a készítési térfogatsúly abszolút értékeinek az összefüggése a szétmorzsolódási tényezővel egyértelmű, ezzel szemben a nyomószilárdság-térfogatsúly viszony alakulásába a szétmorzsolódási tényező változásán kívül elkerülhetetlen módon belejátszik más tényező (pl. a tömörítés) hatása is.

A közölt eredmények és megállapítások után a habsalak önszilárdságának (halmaztérfogatsúlyának) és a beton nyomószilárdságának, valamint térfogatsúlyának az összefüggésére a következő szabályt lehet megfogalmazni. A habsalakbeton nyomószilárdsága és térfogatsúlya a felhasznált habsalak adalékanyag halmaztérfogatsúlyával, illetve önszilárdságával arányos. Minél szilárdabb és nehezebb az adalékanyag, annál szilárdabb és nehezebb a belőle készített beton. A nyomószilárdság-térfogatsúly viszony kisebb készítési térfogatsúlyú és szilárdságú beton esetében (kb. 1700 kg/m^3 alatt) akkor kedvezőbb, ha az adalékanyag halmaztérfogatsúlya kisebb, nagyobb készítési térfogatsúlyú és szilárdságú betonok esetében (kb. 1800 kg/m^3 fölött) akkor, ha az adalékanyag halmaztérfogatsúlya nagyobb.

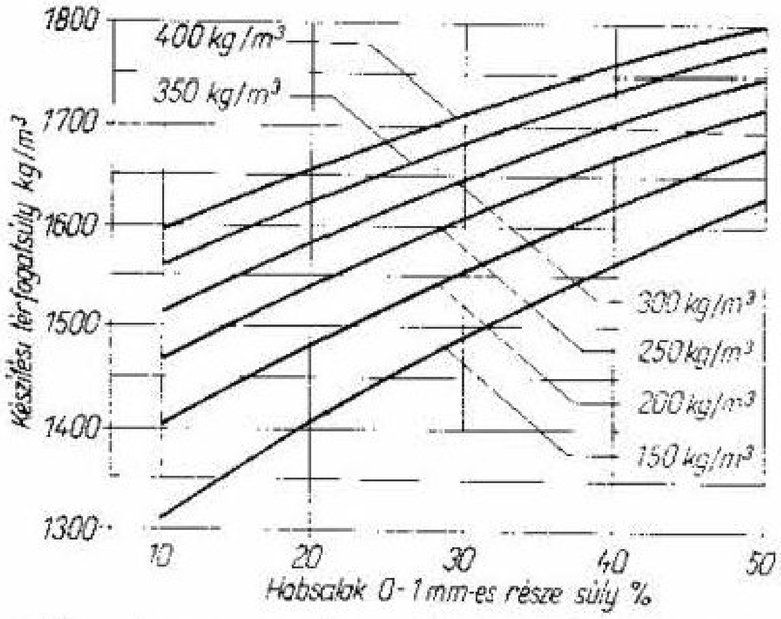
2.2. Az adalékanyag szemszerkezete



4.ábra: A habsalak adalékanyag finomrész tartalmának összefüggése a beton 28 napos nyomószilárdságával adott összetételű és készítésű habsalakbeton esetén

A habsalak szemszerkezetének a hatását a beton nyomószilárdságára és térfogatsúlyára több éves kísérleteink során részletesen vizsgáltuk [4]. Megállapítottuk, hogy a beton szilárdságát elsősorban az adalékanyag finom szemeinek a mennyisége befolyásolja. *K. H. Wesche* vizsgálatai eredményeképpen arra a megállapításra jutott [8], hogy a könnyűbetonok szilárdságát kizárólag a cementtartalom, valamint az adalékanyag 0,2 mm alattiszemcséi mennyiségének az összege határozza meg. Bár ez a megállapítás csak bizonyos feltételek mellett és bizonyos határok között fogadható el, bizonyítja az adalékanyag finom részeinek lényeges szerepét. Vizsgálataink szerint a gyakorlat számára kellő pontosságú a 0-1 mm-es, ún. finomadalékanyag mennyiségének a figyelembe vétele. Ha megkötjük a finomadalékanyag mennyiségét, akkor akár folyamatos, akár lépcsős szemszerkezet esetén – egyébként azonos betonösszetétel és készítés mellett – gyakorlatilag azonos szilárdságú betont készíthetünk.

A 4.ábrán megrajzoltuk a 700 g/liter halmaztérfogatsúlyú, különböző finomrésztartalmú adalékanyaggal, 25 % tömörítési fokkal (lásd 2.5. fejezetet) készített, különböző mennyiségű 500-as tatai portlandcementet tartalmazó habsalakbetonok 28 napos nyomószilárdságának az alakulását. Az ábrán feltüntetett eredményeket kényszerkeverőgépben kevert, 2800/perc rezgésszámú vibroasztalon tömörített, 7 napig nedvesen tartott, majd klímateremben tárolt betonkockák vizsgálataiból kaptuk. A 4.ábra szerint az adalékanyag finomrész tartalmának növekedésével nő a beton nyomószilárdsága. Ha az adalékanyag finomrésztartalma 150 kg/m^3 cementadagolás mellett 10 súly %-ról 50 súly %-ra növekszik, akkor adott esetben a nyomószilárdság 23 kg/cm^2-ről 38 kg/cm^2-re nő. Ha a beton cementtartalma 400 kg/m^3, akkor az előbbivel azonos finomrész tartalom változás mellett a nyomószilárdság 92 kg/cm^2-ről 147 kg/cm^2-re nő. A szilárdság növekedésének abszolút értéke előbbi esetben tehát 15 kg/cm^2, utóbbi esetben 55 kg/cm^2, százalékosan 65 %, illetve 60 %.

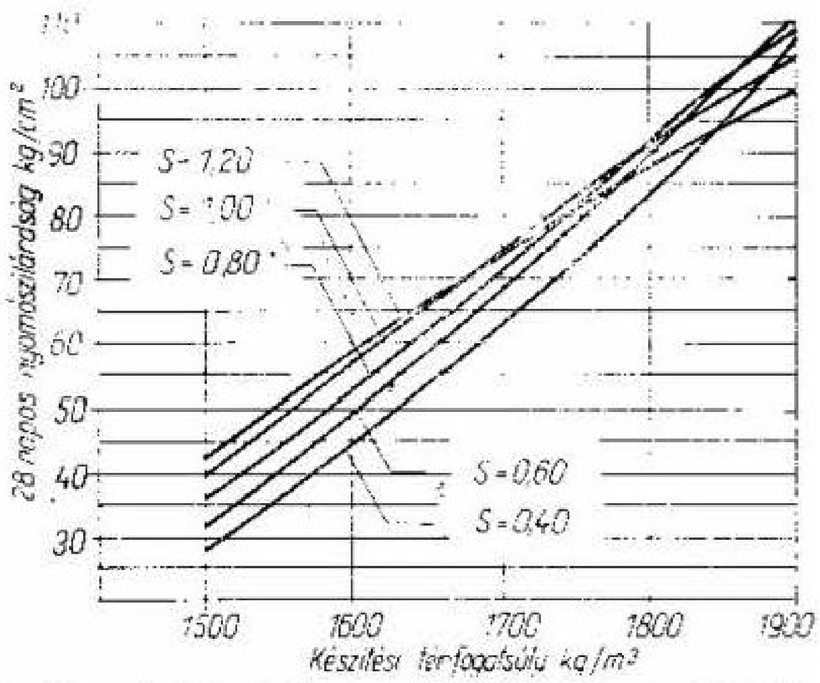


5. ábra: A habsalak finomrésztartalmának összefüggése a beton készítési térfogatsúlyával, adott összetételű és készítésű habsalakbetonok esetén

A habsalak finomrésztartalmának és a beton készítési térfogatsúlyának összefüggését az 5. ábrán rajzoltuk meg. Az ábrán feldolgozott eredményeket a 4. ábra szerinti összetételű és

készítésű betonok vizsgálatából kaptuk. Az 5. ábra szerint a finomrész tartalom növekedésével nő a beton készítési térfogatsúlya. Ha a finomrésztartalom 150 kg/m^3 cementadagolás mellett

A habsalak 10 súly %-ról 50 súly %-ra emelkedik, akkor a készítési térfogatsúly adott esetben 1310 kg/m^3-ről 1630 kg/m^3-re nő. Ha 400 kg/m^3 cementtartalom mellett a finomrészek mennyisége az előzőek szerint változik, akkor a készítési térfogatsúly 1600 kg/m^3-ről 1800 kg/m^3-re emelkedik. Előző esetben tehát a térfogatsúly növekedése abszolút értékben 320 kg/m^3, utóbbi esetben 200 kg/m^3, előbbi esetben 24 %, utóbbi esetben 12 %.



6. ábra: A habsalakbeton készítési térfogatsúlyának és 28 napos nyomószilárdságának az összefüggése a habsalak finomrész tartalmától függően, adott betonösszetétel esetén

A készítési térfogatsúly és a nyomószilárdság viszonyának az alakulását a 6. ábrán rajzoltuk meg. Az ábrán *S = 0,8* szétmorzsolódási tényezőjű, különböző finomrész tartalmú habsalakkal készített, 250 kg/m^3 500-as tatai portlandcementet tartalmazó betonok vizsgálati eredményei láthatók. A betonokat az előzőekkel azonos módon utókezeltük.

A 6. ábra eredményei a 3.ábrával hasonlíthatók össze. Amíg a beton készítési térfogatsúlya 1700 kg/m^3 alatt van, addig adott térfogatsúly mellett a legnagyobb nyomószilárdságú beton 10 súly% finomrész tartalmú adalékanyaggal készíthető. Például 1600 kg/m^3 készítési térfogatsúly mellett 10 súly% finomrész tartalmú adalékanyaggal 63 kg/cm^2, 50 súly% finomrész tartalmú adalékanyaggal 44 kg/cm^2 nyomószilárdságú beton készíthető, egyébként azonos körülmények mellett. Ha a beton készítési térfogatsúlya 1700 kg/m^3 fölé emelkedik, a viszonyok megváltoznak. Például 1800 kg/m^3 készítési térfogatsúly esetén 40 % finomrész tartalommal érhető el a legnagyobb betonszilárdság (93 kg/cm^2), míg 10 % finomrész tartalommal a nyomószilárdság csak 82 kg/cm^2. Az eredmények a 3.ábrával kapcsolatban mondottak segítségével értékelhetők, vagyis figyelembe kell vennünk a tömörítés hatását is. Az ábrával kapcsolatban még meg kell jegyeznünk a következőket.

Általában megállapítható, hogy ha a nyomószilárdság abszolút értékét vesszük figyelembe, akkor minél nagyobb az adalékanyag finomrész tartalma, annál nagyobb a beton abszolút nyomószilárdsága, ellentétben a szokványos kavicsbetonok esetében tapasztaltakkal. Ha azonban a nyomószilárdság-téfogatsúly viszonyt szemléljük, akkor bizonyos készítési térfogatsúly alatt (példánkban 1700 kg/m^3 alatt) a szemszerkezettel kapcsolatban a kavicsbetonok esetére megállapított törvényszerűségek mérvadók. Például *Fuller* szerint a cementtartalom figyelembe vételével a legkedvezőbb szemszerkezet az alábbi képletből számítható:

$$A = 100 \cdot \sqrt{d / D}$$

ahol D = a maximális szemnagyság, mm

d = a vizsgált szemnagyság, mm

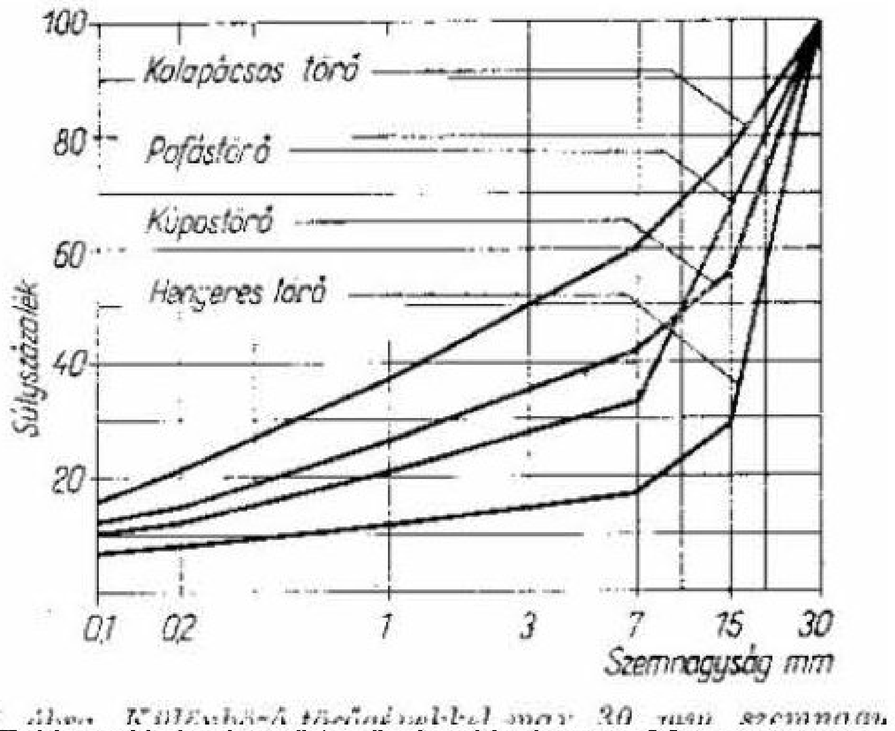
a = a vizsgált szemnagyság részarány, súly %

Ebből pl. $D = 15$ *mm* mellett a cement és a 0-1 mm-es adalékanyag-részek ($d = 1$) mennyisége $a = 25,8$ *súly %*. Példánkban (6. ábra) a cement mennyisége kb. 15 súly %, így a 0-1 mm-es adalékanyag legkedvezőbb mennyisége kb. 10 súly %, vagyis a szilárdság-térfogatsúly viszonyának szempontjából legkedvezőbb érték.

A habsalakot általában aprítani kell, hogy a szükséges szemszerkezetet előállíthassuk. Tájékoztatásul a 7. ábrán közöljük, hogy adott maximális szemnagyság ($D = 30$ *mm*) esetében, különböző törőgépekkel aprítva, milyen szemeloszlású adalékanyagok nyerhetők.

Ha a maximális szemnagyságot csökkentjük, akkor az aprított halmaz finomrész tartalma növekszik. Ha adott maximális szemnagyság és adott törőgép esetén az adalékanyagot többszörösen aprítjuk, akkor a finomrész tartalom ugyancsak növelhető. Tájékoztatásul közöl-

jük, hogy pofástörővel hatszorosan aprított habsalak 0-1 mm-es részeinek a ennyisége 21 súly %-ról 35 súly %-ra volt növelhető.



7.ábra: Különböző törőgépekkel max. 30 mm szemnagyságúra aprított habsalak szemszerkezete

Ezek az adatok tájékoztathatnak az esetleg szükségessé váló aprítás során várható szemeloszlásról.

Megtörténhet, hogy a rendelkezésünkre álló habsalak adalékanyagban nincs elegendő mennyiségű finomrész, és nincs aprítógép a finom frakció előállítására. Ilyen esetben – szükség esetén – 0-1 mm-es természetes homokkal is pótolhatjuk a hiányzó finomrészeket számolva azzal, hogy azonos szilárdság mellett – a természetes homok adagolásának mértékétől függően – 5-15 %-kal növekedhet. Mivel a természetes homok vízigénye kisebb, mint a habsalak homoké, ezért a természetes homokkal készített betonhoz kevesebb vizet kell adagolni. Ennek az a következménye, hogy a beton száraz térfogatsúlya természetes homok adagolása esetén 7-20 %-kal lehet nagyobb, mint habsalakhomok adagolással.

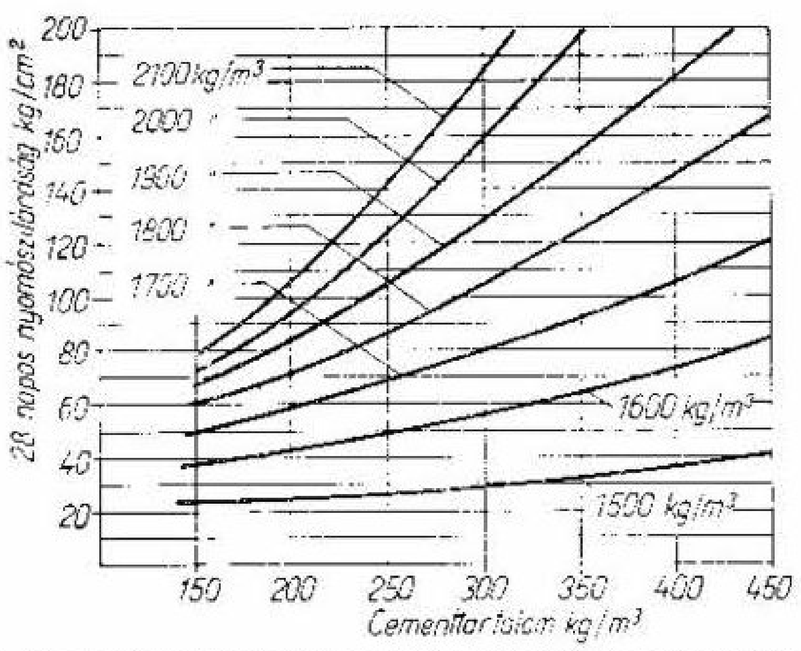
A 4.-7. ábrák alapján a habsalak 0-1 mm-es szemcsetartalmának és a beton nyomószilárdságának, illetve térfogatsúlyának összefüggésére a következő szabályt lehet megfogalmazni:

A habsalakbeton nyomószilárdsága és térfogatsúlya a felhasznált habsalak adalékanyag 0-1 mm-es részeinek a mennyiségével egyenesen arányos. Minél több az adalékanyag 0-1 mm-es részeinek a mennyisége (max. 40-50 súly %), annál szilárdabb és nehezebb a belőle készített beton. A nyomószilárdság-térfogatsúly viszony kisebb készítési térfogatsúlyú és szilárdságú betonok esetében (kb. 1700 kg/m^3 alatt) akkor kedvezőbb, ha az adalékanyag 0-1 mm-es részeinek amennyisége kisebb, nagyobb készítési és térfogatsúlyú és szilárdságú betonok esetében (kb. 1800 kg/m^3 fölött) akkor, ha az adalékanyag finomrész tartalma nagyobb. A természetes homok – az adagolás mértékétől függően – azonos szilárdság mellett a beton készítési térfogatsúlyát 5-15 %-kal, száraz térfogatsúlyát 7-20 %-kal növeli.

A habsalakot legkedvezőbben kalapácsos törővel lehet aprítani.

2.3. A beton cementtartalma

A könnyűbetonokat általában nagyszilárdságú, sok helyen nagy kezdőszilárdságú cementtel készítik. Vizsgálataink során elsősorban 500-as tatai portlandcementet alkalmaztunk. A felhasznált cement minősítésekor megállapítottuk, hogy annak 28 napos földnedves nyomószilárdság (MSZ 523) 550-580 kg/cm^2, így a 600-as cementtel összehasonlítva csak csekély mértékben kisebb szilárdságú. Eredményeink tehát gyakorlatilag az 500-as és a 600-as portlandcementre egyaránt általánosíthatók.

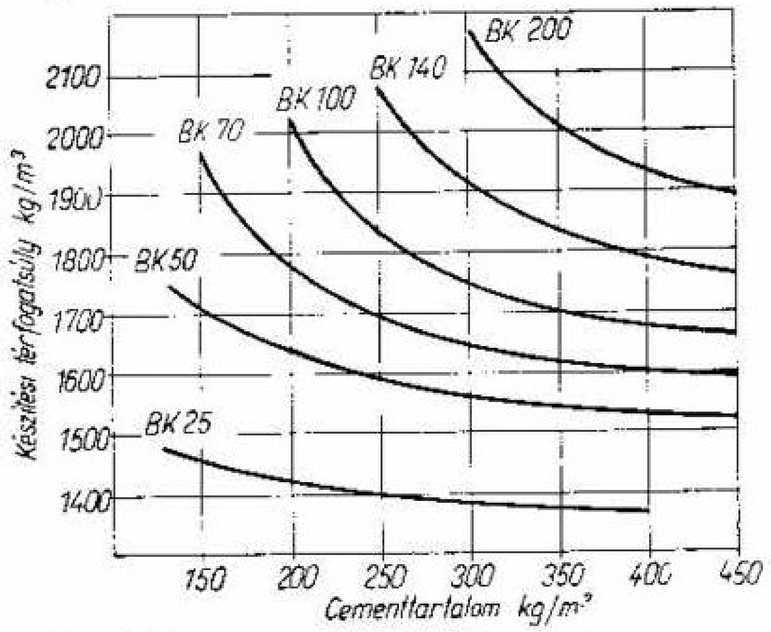


8. ábra: Összefüggés a különböző készítési térfogatsúlyú, adott összetételű habsalakbetonok cementtartalma és nyomószilárdsága között

Az 500-as tatai portlandcementtel, $S = 0,8$ szétmorzsolódási tényezőjű, 30 % 0-1 mm-es finomrészt tartalmazó adalékanyaggal készített, különböző készítési térfogatsúlyú habsalakbetonok cementtartalma és nyomószilárdsága közötti összefüggést a 8.ábrán rajzoltuk meg.

A betonokat az eddig ismertetett módon készítettük, utókezeltük és tároltuk. A 8. ábra szerint a beton nyomószilárdságát a cementtartalom

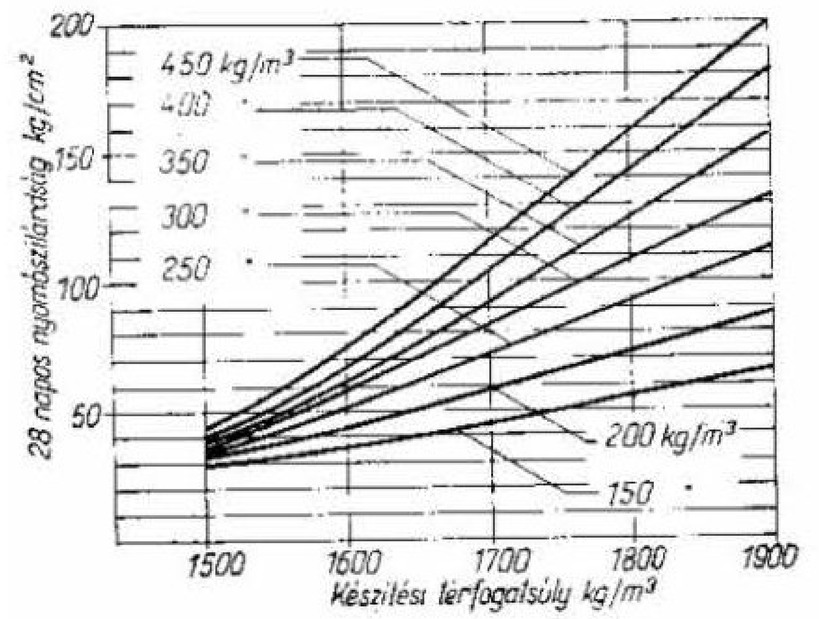
nagymértékben befolyásolja. Ha a beton készítési térfogatsúlya 1500 kg/m^3, akkor a cementtartalmat 150 kg/m^3-ről 450 kg/m^3-re növelve a nyomószilárdság 23 kg/cm^2-ről 41 kg/cm^2-re nő. Ha a beton készítési térfogatsúlya 1800 kg/m^3, akkor a nyomószilárdság az előbbivel azonos cementtartalom-növekedés mellett 60 kg/cm^2-ről 168 kg/cm^2-re nő. A szilárdság növekedése tehát abszolút értékben az előző esetben 18 kg/cm^2, az utóbbi esetben 108 kg/cm^2, százalékosan pedig rendre 80 % és 180 %.



9. ábra: Összefüggés a különböző kockaszilárdságú, adott összetételű habsalak betonok cementtartalma és készítési térfogatsúlya között

A 9. ábrán az előző kísérletek alapján a készítési térfogatsúly és a cementtartalom összefüggését rajzoltuk meg különböző betonszilárdság mellett. Az ábra szerint, ha BK25 szilárdsági jelű habsalak betont 250 kg/m^3 helyett 400 kg/m^3 500-as portlandcementtel készítünk, akkor a készítési térfogatsúly 1400 kg/m^3-ről 1370 kg/m^3-re csökken. Ha BK140 jelű betont készítünk 250 kg/m^3 cementadagolás helyett 450 kg/m^3 cementadagolással, akkor a készítési térfogatsúly2080 kg/m^3-ről 1770 kg/m^3-re csökken. A térfogatsúly csökkenése adott feltételek mellett az előző esetben abszolút értékben 30 kg/m^3, utóbbi esetben 310 kg/m^3, százalékosan 2 %, illetve 15 %.

A fenti adatokból készítettük a 10.ábrát, ahol a habsalak betonok készítési térfogatsúlyának és nyomószilárdságának az összefüggését rajzoltuk meg a cementadagolás függvényében. Az ábra szemléletesen bizonyítja a 2. fejezet bevezetőjében tett megállapításunkat, amely szerint a habsalak betonok térfogatsúlya a beton nyomószilárdságát az egyéb tényezőktől függetlenül nem határozza meg. Az ábra szerint pl. 1700 kg/m^3 készítési térfogatsúlyú habsalak betonból 45-115 kg/cm^2 nyomószilárdságú beton állítható elő, ha a cementadagolás 150-450 kg/m^3 között változik.



10. ábra: Adott összetételű habsalak betonok készítési térfogatsúlyának és nyomószilárdságának az összefüggése a cementtartalomtól függően

A 8.-10. ábrák alapján a habsalak beton cementtartalmának és nyomószilárdságának, illetve térfogatsúlyának összefüggésére a következő szabályt lehet megfogalmazni:

A habsalak beton nyomószilárdsága a felhasznált cement mennyiségével és minőségével egyenesen arányos, míg a készítési térfogatsúlya azonos nyomószilárdság mellett a cementtartalommal fordítva arányos. Minél kisebb a beton szilárdsága egyébként azonos összetétel mellett, annál kisebb a különböző cementtartalom mellett szükséges készítési térfogatsúlyok különbsége. Emiatt kis szilárdságú (10-50 kg/cm^2) betonok előállítása esetén minimális cementadagolással kell dolgozni, míg nagyobb szilárdságú betonok készítése során gazdaságossági számítással kell eldönteni a cementtartalom és a készítési térfogatsúly mértékét.

2.4. A habsalak beton keverése, a vízadagolás mértéke

Hazai építőiparunk a betonokat általában szabadeséső keverőgépben keveri, az irodalom viszont könnyűbetonokhoz kényszerkeverőgépet ajánl. Megvizsgáltuk ezért a kényszerkeverőgépek hatását azonos összetételű és azonosan bedolgozott betonok szilárdságára és készítési térfogatsúlyára. Kísérleteink alkalmával azonban kitűnt, hogy a betonösszetevők adagolási sorrendje is kihat a habsalak beton tulajdonságaira, ezért a vizsgálatokat kiterjesztettük az adagolási sorrend hatásának a megállapítására is.

A kísérleteinkhez Jaeger-féle szabadesésű keverőgépet és Nagarat-kényszerkeverőgépet alkalmaztunk. A betonkeverékek alkotóinak adagolási sorrendjét a következőképen változtattuk.

1. módszer: A tárolási állapotú adalékanyagot és a cementet ½ percig kevertük a betonkeverőgépben, majd hozzáöntöttük a szükséges mennyiségű vizet és a keverést további 3 percen át folytattuk.

2. módszer: A készítési víz kb. 80 %-ával cementtejet készítettünk, a maradék 20 % készítési vizet a száraz adalékanyaghoz öntöttük. Az előnedvesített adalékanyagot kb. ½ percig kevertük, majd a cementpépet hozzáöntve a keverést további 3 percen át folytattuk.

3. módszer: A készítési víz egész mennyiségét az adalékanyaghoz öntöttük, és a keverést akkor kezdtük el, amidőn a vizet az adalékanyag felszívta. Ez az időpont a víz hozzáöntésétől számított kb. 2 perc volt. A vizes adalékanyagot kb. ½ percig kevertük, majd a cementpépet hozzáöntve a keverést további 3 percen át folytattuk.

A Jaeger-keverővel mind a három módszert kipróbáltuk, Nagarat-keverővel csak a 3. módszer szerint dolgoztunk. Első alkalommal mind a Jaeger-, mind a Nagarat-keverőbe a névleges űrtartalom 60 %-ának megfelelő mennyiségű anyagot helyeztünk, majd a kísérleteket azonos betonösszetétellel megismételtük úgy, hogy a keverőgépbe a névleges űrtartalom 30 %-ának megfelelő mennyiségű betont tettünk. Az eredményeket az 1. táblázatban közöljük.

1. táblázat: A keverés módjának hatása a habsalak beton szilárdságára és térfogatsúlyára

Megnevezés	*60 % gépkihasználás*				*30 % gépkihasználás*	
	1. Jaeger	*2. Jaeger*	*3. Jaeger*	*3. Nagarat*	*3. Jaeger*	*3. Nagarat*
Átlagos készítési kockasúly, kg	12,42	12,74	13,08	14,11	14,08	15,07
Készítési kockasúly, négyzetes középhiba, kg	0,175	0,102	0,075	0,108	0,101	0,152
Készítési kockasúly szórása, %	1,41	0,80	0,57	0,78	0,72	1,01
Átlagos törési kockasúly, kg	12,47	12,63	13,21	13,68	13,63	14,64
törési kockasúly, négyzetes középhiba, kg	0,145	0,182	0,132	0,104	0,097	0,099
Törési kockasúly szórása, %	1,16	1,44	1,00	0,76	0,31	0,68
Átlagos 28 napos nyomószilárdság, kg/cm²	36,5	37,8	43,9	94,7	75,7	101,1
Nyomószilárdság, négyzetes középhiba, kg	2,98	4,05	2,63	7,2	2,77	3,91
Nyomószilárdság szórása, %	8,2	10,7	6,0	7,6	3,13	3,87

Az 1. táblázat adatai szerint, ha az 1.keverési módszerrel készített betonkockák szilárdságát 100 %-nak vesszük, akkor a különböző keverési módszerekkel készített betonkockák százalékos szilárdsága az alábbiak szerint alakul:

1. módszer: 100,0 %
2. módszer: 103,0 %
3. módszer: 120,3 %

Ezek az adatok jól egyeznek *Chabrel* hasonló vizsgálatainak az eredményeivel [9]. Az eredmények szerint tehát legkedvezőbb a vízzel telített adalékanyag alkalmazása mind a nyomószilárdság abszolút értéke és szórása, mind a térfogatsúly szórása szempontjából. Figyelembe kell venni természetesen, hogy a közölt adatok laboratóriumi eredmények. *H. Hamann* [10] vizsgálatai szerint az üzemi gyártás során a vizsgálati eredmények szórása kb. 30 %-kal nagyobb, mint a laboratóriumban készült betonkockák szilárdságának a szórás, ezen kívül a betonkockák nyomószilárdságával azonos szilárdságú betont üzemben csak mintegy 5 %-kal nagyobb térfogatsúly mellett lehet elérni.

Megállapítható továbbá, hogy 60 %-os dobkihasználás mellett Jaeger-keverővel 116 %-kal, 30 % dobkihasználás mellett 34 %-kal kisebb szilárdságú beton készíthető, mint kényszerkeverő géppel. Nagarat-féle kényszerkeverővel mind 60 %-os, mind 30 %-os dobkihasználás mellett gyakorlatilag azonos szilárdság érhető el. A szabadesésű és a kényszerkeverőgéppel készített betonok közötti szilárdságkülönbség a két gép munkaintenzitásának, keverési hatásosságának különbségére vezethető vissza.

Az eredményekből megállapíthattuk, hogy a vízzel telített adalékanyag alkalmazásával érhetjük el a legnagyobb betonszilárdságot. Megvizsgáltuk azt is, hogy a vízadagolás mértéke ettől a legkedvezőbb értéktől mennyire térhet el. Ebből a célból 22 súly % vízfelvételű adalékanyaggal készítettünk 180 kg/m^3 cementadagolású betonkeverékeket a száraz adalékanyag súlyára számított 19,2; 22,0 ,24,8 és 27,5 % vízmennyiséggel és ezekből azonosan tömörített próbatesteket állítottunk elő. A beton 28 napos nyomószilárdsága rendre 32, 37, 34 és 36 kg/cm^2 volt, azaz az optimális vízmennyiségnél kb. 10 %-kal kevesebb vízadagolás kb. 15 % szilárdságcsökkenést okozott, az optimálisnál nagyobb vízmennyiség azonban a szilárdságot csak lényegtelenül változtatta meg. Ezek az eredmények a tufabetonok esetében tapasztaltakkal egyeznek meg [11].

A közölt eredmények alapján a habsalak betonok nyomószilárdságának és térfogatsúlyának a beton vízadagolásától és keverésétől függő változására az alábbi szabályt lehet megfogalmazni:

A habsalak betont kényszerkeverő gépben kell keverni. Szabadesésű keverőgép alkalmazása esetén a dobűrtartalomnak csak legfeljebb 50 %-át szabad igénybe venni, de ekkor is számítani kell mintegy 30-40 % szilárdságcsökkenésre. A habsalakhoz először a vízfelvételének megfelelő mennyiségű vizet kell hozzáadni, ezzel megkeverni, és csak ezután adagolható a cement. A beton ne tartalmazzon kevesebb vizet, mint amennyi a habsalak vízfelvételének megfelelő. A víz/cement tényező szabályozó szerepe habsalak betonok esetében nem érvényesül, ha a teljes vízadagolást vesszük számításba.

2.5. A habsalak beton tömörítése

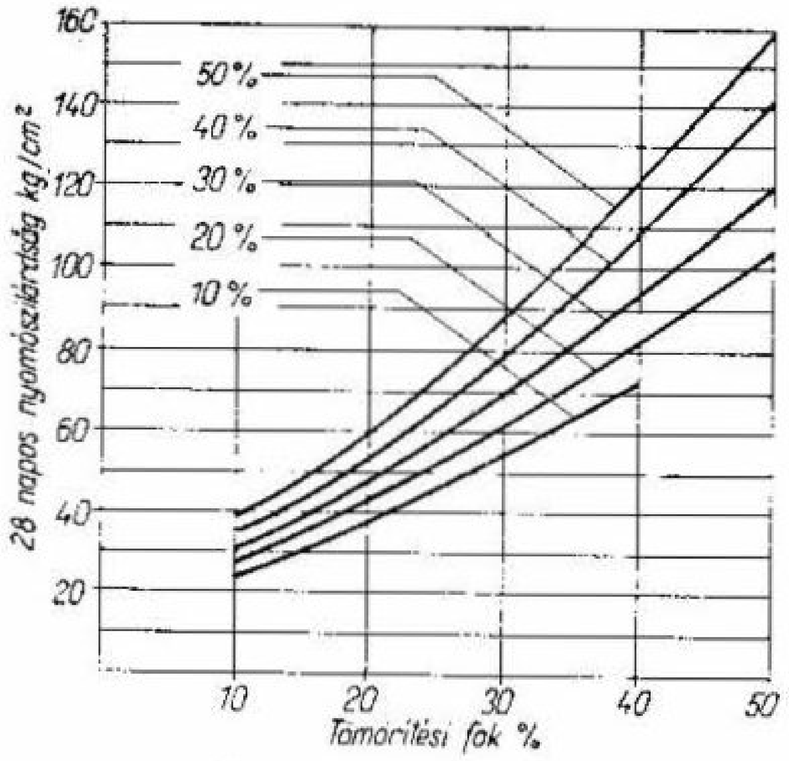
A könnyűbetonok tömörsége a nyomószilárdság szempontjából legalább olyan jelentőségű, mint a szokványos kavicsbetonoké. Amíg azonban az utóbbi esetben a tömörítés megváltozása elsősorban a nyomószilárdságot változtatja meg, és a térfogatsúlyt csak kismértékben befolyásolja, addig az előbbi esetben mind a nyomószilárdság, mind térfogatsúly a tömörítés határozottan kimutatható függvénye.

A tömörítőmunka eredményessége közvetlenül mérhető a beton tömörödése segítségével. A kavicsbetonok tömörítését ellenőrizhetjük a bedöngölési tényezővel, amely a homokoskavics és a kész beton térfogatának a viszonya, vagy útburkolatok esetén használjuk a bedolgozási tényezőt is, amely külön a homok és külön a kavics térfogatának, valamint a kész beton térfogatának a viszonya.

Ezek a módszerek azonban nem alkalmasak a habsalak betonok tömörítettségének az elbírálására, mert egyrészt különböző litersúlyú adalékanyagok bedöngölési vagy bedolgozási tényezője azonos tömörítés mellett is más és más, másrészt pedig a habsalak természetes nedvességtartalma 0 és 25 súly% között változhat, és a nagy nedvességtartalom következtében a habsalak térfogata 40 %-kal is fellazulhat! Ezenkívül a cementtartalom a habsalak beton tömörségére nagyobb hatással van, mint a kavicsbetonokéra.

A habsalak tömörítettségének a meghatározására vizsgálataink során mértük a habsalak beton keverék (adalékanyag + víz + cement) laza halmaztérfogatsúlyát (L_b) 10 literes szabványos mérőhengerben, majd a betömörített friss habsalak beton térfogatsúlyát (T). A két érték viszonyát tömörítési foknak neveztük (T_t). Számítása:

$$T_f = \frac{T - L_b}{L_b} \times 100$$



11. ábra: Összefüggés a tömörítési fok és a beton nyomószilárdsága között, különböző finomrész tartalmú adalékanyag alkalmazásakor

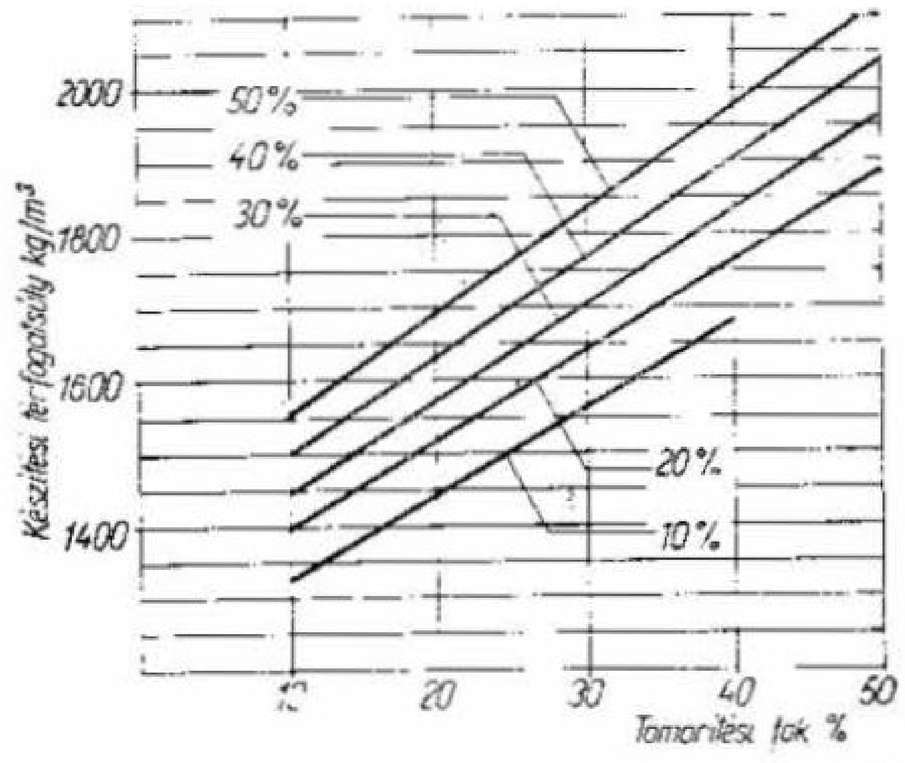
A tömörítési fok hatását a beton nyomószilárdságára 250 kg/m^3 500-as tatai portlandcementet tartalmazó *S = 0,8* szétmorzsolódási tényezőjű habsalakkal készített betonokra vizsgáltuk, külön-böző finomrész tartalom mellett. Az eredményeket a 11. ábrán rajzoltuk meg.

A 11. ábra szerint pl. 30 % finomrész tartalmú adalékanyag alkalmazásakor 10 % tömörítési fok mellett 26 kg/cm^2, 50 % tömörítési fok mellett 120 kg/cm^2 nyomószilárdság érhető el.

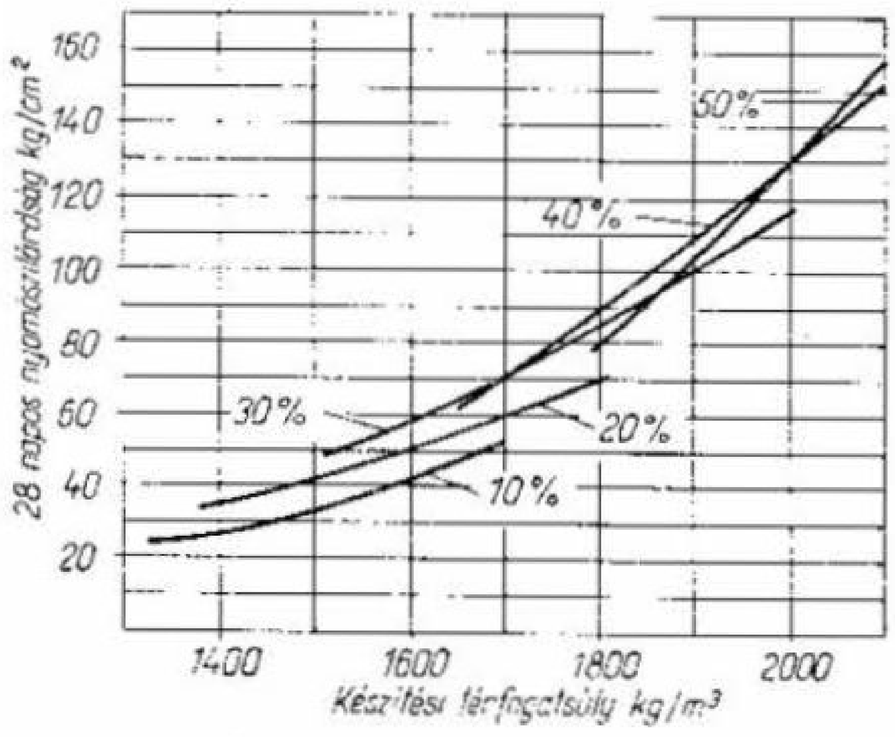
Ugyanezeknek a betonkeverékeknek a vizsgálati eredményeiből a 12. ábrán rajzoltuk meg a tömörítési fok összefüggését a beton készítési térfogatsúlyával, változó finomrész tartalmú adalékanyag alkalmazása esetén.

A 12. ábra szerint a tömörítési fok és a térfogatsúly egymással szorosan összefügg. Például 30 % finomrész tartalmú habsalakkal készített beton készítési térfogatsúlya 10 % tömörítési fok mellett 1450 kg/m^3, 50 % tömörítési fok mellett 1960 kg/m^3.

A térfogatsúly és a nyomószilárdság tömörítési foktól függő viszonyát a 13.ábrán rajzoltuk meg.



12. ábra: Változó finomrész tartalmú habsalakkal előállított betonok készítési térfogatsúlyának és tömörítési fokának összefüggése



13. ábra: Adott összetételű habsalak betonok készítési térfogatsúlyának és nyomószilárdságának összefüggése a tömörítési foktól függően

A 13. ábra szerinti betonokat 250 kg/m^3 tatai 500-as portlandcementtel készítettük. Az ábra szerint a készítési térfogatsúly és a nyomószilárdság összefüggését a tömörítési fok válto-zása csak kis mértékben befolyásolja. A 10-30 % tömörítési fok hatása még jól elválasztható egymástól (1700 kg/m^3 készítési térfogatsúly alatt), a 30-50 % tömörítési fok hatása már összemosódik. Mindenesetre megállapítható, hogy a nyomószilárdság-térfogatsúly viszony szempontjából a habsalak betonok készítési térfogatsúlya szakaszokra bontható: 1700 kg/m^3 térfogatsúlyig legkedvezőbb a 30 % tömörítési fok, 1700-1900 kg/m^3 között 40 % tömörítési fok, míg 1900 kg/m^3 fölött 50 % tömörítési fok adja a legkedvezőbb értéket.

A 11.-13. ábrák alapján a habsalak betonok nyomószilárdságának és térfogatsúlyának a tömörítési foktól függő változására az alábbi szabály fogalmazható:

A habsalak beton nyomószilárdság és térfogatsúlya egyenesen arányos a tömörítési fokkal. A tömörítési fok hatása azonban a nyomószilárdság-térfogatsúly viszonyra nem ilyen egyértelmű.

Ebből a szempontból a beton szilárdságától és térfogatsúlyától függően változik a legkedvezőbb tömörítési fok. Általánosságban kimondható azonban: a habsalak betont úgy kell tömöríteni, hogy a készítési térfogatsúlya feleljen meg az előírt értéknek.

2.6. A habsalakbeton utókezelése

Laboratóriumi kísérleteink során különböző tárolási módokat alkalmaztunk. Az eredményekből megállapíthattuk, hogy a kohóhabsalak beton kb. 60 % relatív nedvességtartalmú, 20-25 °C hőmérsékletű szobalevegőn igen hamar kiszárad annak ellenére, hogy készítéskor nagy a víztartalma. Minél porózusabb a beton, annál gyorsabb a száradása, és annál veszélyesebbek ennek következményei. Ha a beton 2-3 napos korában kerül száraz környezetbe, a próbatestek élei már egy hónap után morzsolódnak, könnyen csorbulnak és a beton nyomószilárdsága is csekély marad. Még 85 % relatív nedvességtartalmú térben tárolva is tapasztaltunk ilyen jelenségeket, különösen a nagy pórustartalmú betonok esetén.

Vizsgálataink alkalmával mennél hosszabb ideig nedvesítettük a habsalak betont, annál kedvezőbb volt a nyomószilárdsága és különösen az élek szilárdsága.

Régebbi és jelenlegi kísérleteink alkalmával is megfigyelhettük, hogy a porózus betonok a hűvösebb időjárásra sokkal érzékenyebbek, mint a szokványos kavicsbetonok. Példaképpen megemlítjük, hogy október hónapban egy napon készítettünk kb. azonos cementtartalmú betonpróbatesteket homokos kaviccsal és habsalakkal, amikor az éjszakai hőmérséklet 0 fok alá süllyedt és nappal csak kb. +10 °C-ig emelkedett. A gyártócsarnok nagy vasajtaja egész nap nyitva állt s csak éjszakára csukták be, amikor viszont a helyiséget már nem fűtötték. A kavicsbeton próbatesteket már a következő napon ki lehetett zsaluzni, azonban a habsalak beton próbatestek kiformázására csak a harmadik napon nyílt lehetőség, mert a szilárdulása nagyon lelassult. A korai hideg környezet a habsalak beton 28 napos nyomószilárdságát is lecsökkentette.

Már a tufabeton kísérleteink alkalmával megállapítottuk [12], hogy ha a napi minimális hőmérséklet +5 5C alá süllyed, akkor a tufabeton nem tárolható a szabadban a kötés ideje alatt és a szilárdulás kezdetén, kb. 3-4 napig. Bár a habsalak betonokat nem vizsgáltuk hasonló időjárási viszonyok között, mégis valószínűnek látszik; legalábbis kezdetben, a tufabetonokhoz hasonlóan, szigorúan meg kell követelnünk a beton készítése és első heti tárolás során a legalább +10 °C átlagos környezeti hőmérsékletet.

A közöltekből a habsalak betonok utókezelésére a következő szabály fogalmazható meg:

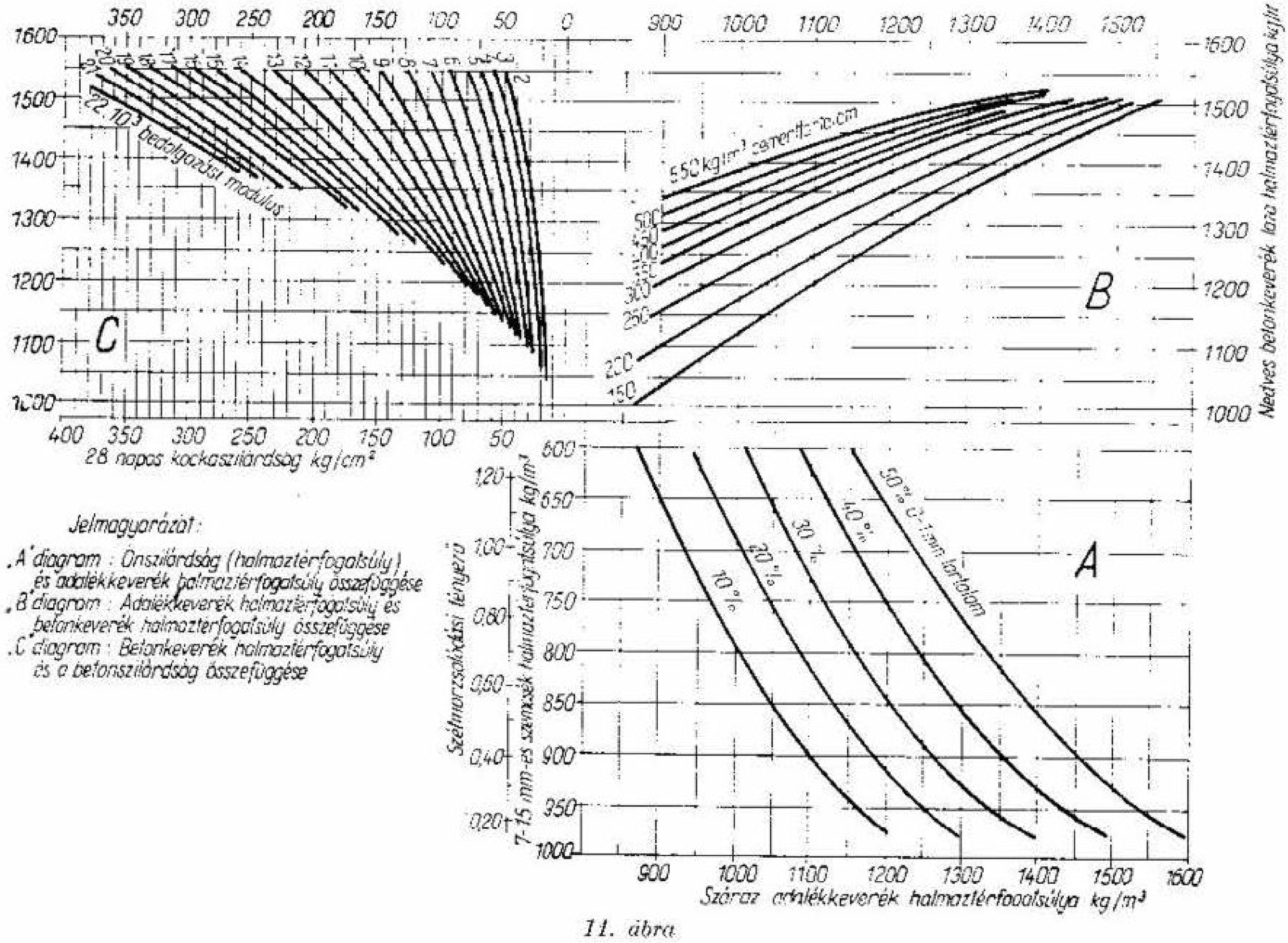
A habsalak betonokat minél hosszabb ideig, de legalább egy hétig állandóan nedvesen kell tartani. Ez alatt az idő alatt legalább átlagosan +10 °C legyen az átlagos környezeti hőmérséklet.

3. A habsalak betonok összetételének a tervezése

Az adott követelményeket kielégítő könnyűbetonok összetételének a tervezésére a szakirodalomból 1-2 eljárás ismeretes. Ezek közül legtöbb figyelmet *G. Rothfuchs* módszere érdemel [13]. Ez az eljárás az adalékanyag fajsúlyából kiindulva határozza meg az adott betonszilárdság eléréséhez szükséges adalékanyag tartalmat és cementtartalmat, a bedolgozott beton 1 m^3-re számítva. Kísérleteink szerint ez az eljárás habsalak betonok tervezésére nem elég pontos, és az adalékanyag fajsúlyának megállapítása miatt nehézkes.

A 2. fejezetben közölt összefüggések alapján lehetőségünk volt a habsalak betonok összetételének a tervezésére a gyakorlat számára szükséges pontosságú eljárást kidolgozni. A beton összetételét a 14. ábra segítségével lehet megtervezni.

A 14. ábra „*A*" jelű diagramja az adalékanyag önszilárdsága (szétmorzsolási tényezője), illetve halmaztérfogatsúlya, és a különböző finomrész tartalmú adalékanyag keverék halmaztérfogatsúlya közötti összefüggést adja meg.



11. ábra

14. ábra

Az ábra „*B*" jelű diagramján az adalékanyag keverék halmaztérfogatsúlya és a különböző cementtartalmú friss betonkeverékek laza halmaztérfogatsúlya közötti összefüggést rajzoltuk meg.

Az ábra „*C*" jelű diagramjában a friss betonkeverék laza halmaztérfogatsúlya, és a megszilárdult beton 28 napos kockaszilárdsága közötti összefüggés látható a bedolgozási modulustól függően. A bedolgozási modulus (*B*) a 2.5. fejezetben meghatározott tömörítési foknak (T_f) és a cementtartalomnak (*C*) a szorzata, vagyis:

$$B = C \times T_f$$

A 14.ábra alkalmas mind a megkívánt szilárdságnak megfelelő betonösszetétel tervezésére, mind adott betonösszetétel esetén a várható 28 napos kockaszilárdság előbecslésére.

A beton összetételét az ábra segítségével a következőképen tervezhetjük meg:

A rendelkezésünkre álló adalékanyag jellemzői (szétmorzsolódási tényező, halmaztérfogatsúly, finomrész tartalom), valamint a szándékolt cementadagolás ismeretében megállapítjuk a laza, nedves betonkeverék halmaztérfogatsúlyát az „*A*" és a „*B*" diagram felhasználásával. A „*C*" diagramban az előírt nyomószilárdság függőlegesét és a betonkeverék halmaztérfogatsúlyának a vízszintesét metszésbe hozzuk, és leolvassuk a szükséges bedolgozási modulust. A bedolgozási modulust elosztva a cementtartalommal a szükséges tömörítési fokot nyerjük, ha pedig a tömörítési fokot megszorozzuk a betonkeverék laza halmaztérfogatsúlyával, akkor a szükséges készítési térfogatsúlyt számíthatjuk ki. Ha az így kapott adatok irreálisak, akkor a 2. fejezet összefüggéseinek a felhasználásával a cementadagolást, vagy a szemszerkezetet megváltoztatjuk és a számítást még egyszer elvégezzük.

Példa: Rendelkezésünkre áll 0,8 szétmorzsolódási tényezőjű, 30 % finomrészt tartalmazó adalékanyag. Felhasználni szándékolt cementmennyiség 250 kg/m^3, megkövetelt betonszilárdság: *BK100*.

Az adott adalékanyag keverék laza halmaztérfogatsúlya az *„A”* diagram szerint 1130 kg/m^3, 250 kg/m^3 cementadagolással a betonkeverék halmaztérfogatsúlya a *„B”* diagram szerint 1310 kg/m^3. A *„C”* diagram szerint *BK100* betonminőség és a betonkeverék 1310 kg/m^3 laza halmaztérfogatsúlya mellett a szükséges bedolgozási modulus: 10700. A tömörítési fok: 10700:250 = 42,9 %, a beton készítési térfogatsúlya: 1310×1,429 = 1870 kg/m^3.

A számítással kapott adatok reálisak, a beton összetétele tehát a következő:

szétmorzsolódási tényező:	0,80	
finomrész tartalom:	30	%
cementadagolás:	250	kg/m^3
tömörítési fok:	42,9	%
készítési térfogatsúly:	1870	kg/m^3

Ezzel a betonösszetétellel és készítési térfogatsúllyal *BK100* minőségű beton állítható elő. A beton várható száraz térfogatsúlya 12-15 %-kal kisebb, mint a készítési térfogatsúly, vagyis 1620-1670 kg/m^3.

Az adott betonösszetétel esetére várható betonszilárdságot a 14.ábra segítségével a következő képen becsülhetjük.

Ismert tényezők: habsalak önszilárdság (halmaztérfogatsúly), habsalak adalékanyag finomrész tartalma, cementtartalom, készítési térfogatsúly. A *„A”* és *„B”* diagram segítségével az előbbi módon meghatározzuk a betonkeverék laza halmaztérfogatsúlyát. A készítési térfogatsúly és betonkeverék halmaztérfogatsúlyának a különbségéből számítható a tömörítési fok, míg a bedolgozási modulust a tömörítési fok és a cementadagolás szorzata adja meg. A *„C”* diagramból a bedolgozási modulus és a betonkeverék halmaztérfogatsúlyának az adatai alapján a várható 28 napos kockaszilárdság becsülhető.

<u>Példa:</u> A habsalak beton keverék összetétele a következő:

szétmorzsolódási tényező:	0,65
finomrész tartalom:	35 súly%
cementtartalom:	270 kg/m^3
készítési térfogatsúly:	1900 kg/m^3

Az *„A”* diagram szerint 0,65 szétmorzsolódási tényezőjű, 35 súly% finomrész tartalmú habsalak adalékanyag halmaztérfogatsúlya 1210 kg/m^3, a betonkeverék halmaztérfogatsúlya pedig 250 kg/m^3 cementadagolással 1380 kg/m^3. A készítési térfogatsúlyból most már számítható a tömörítési fok: *100×(1900 – 1380):1380 = 37,7 %*, a bedolgozási modulus pedig *37,7×270 = 10200*. A *„C”* diagram szerint a betonkeverék 1380 kg/m^3 laza halmaztérfogatsúlyához és 10200 bedolgozási modulushoz 115 kg/cm^2 28 napos kockaszilárdság tartozik.

Eddigi vizsgálataink szerint a szilárdságbecslési eljárás pontossága, ha a készítési előírásokat betartjuk, +10% és –2% közötti, vagyis a gyakorlat számára kielégítő.

Irodalom

(1) *Újhelyi János—Székely Ádám:* Habosított kohósalak adalékanyag felhasználása közép- és nagyblokkos építkezésekhez. Magyar Építőipar 1959. augusztus.

(2) *R. W. Miller:* Expanded Blast Furnace Slag for Use as Lightweight Concrete Aggregate. Blast Furnace and Steel Plant. 1953. ján.

(3) *Rudnai Gyula:* Salakok építőipari felhasználása. Magyar Építőipar 1959. 5. szám, május.

(4) *Újhelyi János:* Mesterséges adalékanyagok felhasználásával készülő könnyűbetonok technológiájának kidolgozása. Építéstudományi Intézet Jelentése. 6. szám. Bp. 1959.

(5) *Dr. ing Ernst Vocke:* Kleine Leichtbetonkunde für Praxis. Betonstein Zeitung. 1958. 9.–12. szám.

(6) *A. Hummel:* Die Ermittlung der Kornfestigkeit von Ziegelsplitt und anderen Leichtbeton-Zuschlagstoffen. Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton. 114. füzet. Berlin. 1954.

(7) *R. W. Kluge:* Lightweight Aggregate Concrete. Journal of the A. C. I. 1956. okt.

(8) *Dr. ing. K. H. Wesche:* Beton aus porigen Stoffen. Betonstein Zeitung. 1958. 3. szám.

(9) *L. Chabrel:* Laitier expansé. Cahiers du S. C. et T. du B. 208. füzet 23. szám.

(10) *Dr. ing. H. Hamann:* Über die Druckfestigkeit von Leichtbeton. Betonstein Zeitung. 1953. 9. szám.

(11) *Újhelyi János:* A tufa építőipari felhasználása. Építőanyag. 1957. 6. szám.

(12) *Újhelyi János:* Tufabetonok. Magyar Építőipar. 1958. 10–12. szám.

(13) *G. Rotjuchs:* Betonfibel. Berlin. 1958.

Újhelyi János : **Kohóhabsalakbetonok.**

A tanulmány rövíden összefoglalja a kohóhabsalak tulajdonságainak, valamint a habsalakbeton összetételének és a beton nyomószilárdságának, illetve térfogatsúlyának összefüggéseit. Megállapítja, hogy a beton szilárdságát és térfogatsúlyát a habsalakadalékanyag halmaztérfogatsúlya, önszilárdsága, finomrésztartalma (0 — 1 mm-es részek mennyiségej, a beton cementtartalma, vízadagolása, keverése, tömörítése és utókezelése határozza meg. Az összefüggésekre részletes ábrákat közöl. Ismerteti a habsalakbetonok összetételének tervezésére kidolgozott ETI-eljárást, amely a készítési feltételek betartása esetén ± 20 és —2% pontossággal alkalmazható. A tervezési eljárás használatát példákon mutatja be.

János Újhelyi : **Die Schaumschlackenbetone.**

Die Abhandlung fasst kurz die Zusammenhänge der Eigenschaften der Hüttenschaumschlacke und der Zusammensetzung des Schaumschlackenbetons und der Druckfestigkeit bzw. des Raumgewichtes des Betons zusammen. Der Autor behauptet, dass die Festigkeit und das Raumgewicht des Betons durch das Schüttgewicht, die Eigenfestigkeit, die Menge der Körner 0—1 mm des Schaumschlackenzuschlagstoffes und durch den Zementgehalt, Wasserzugabe, Mischung, Dichtigkeit und Nachbehandlung des Betons bestimmt wird. Die Zusammenhänge werden durch Abbildungen veranschaulicht. Die Arbeit befasst sich auch mit der Zusammensetzung des Schaumschlackenbetons, die in dem Bauwissenschaftlichen Institut (ETI) ausgearbeitet wurde. Dies kann mit ± 20 — —2% Genauigkeit verwendet werden. Es werden auch einige Beispiele zur Verwendung der Methode angegeben.

A könnyűadalékos beton fajtái, összetételének tervezése és a beton készítése

MÉRNÖKI TOVÁBBKÉPZŐ INTÉZET előadássorozatából: 3797

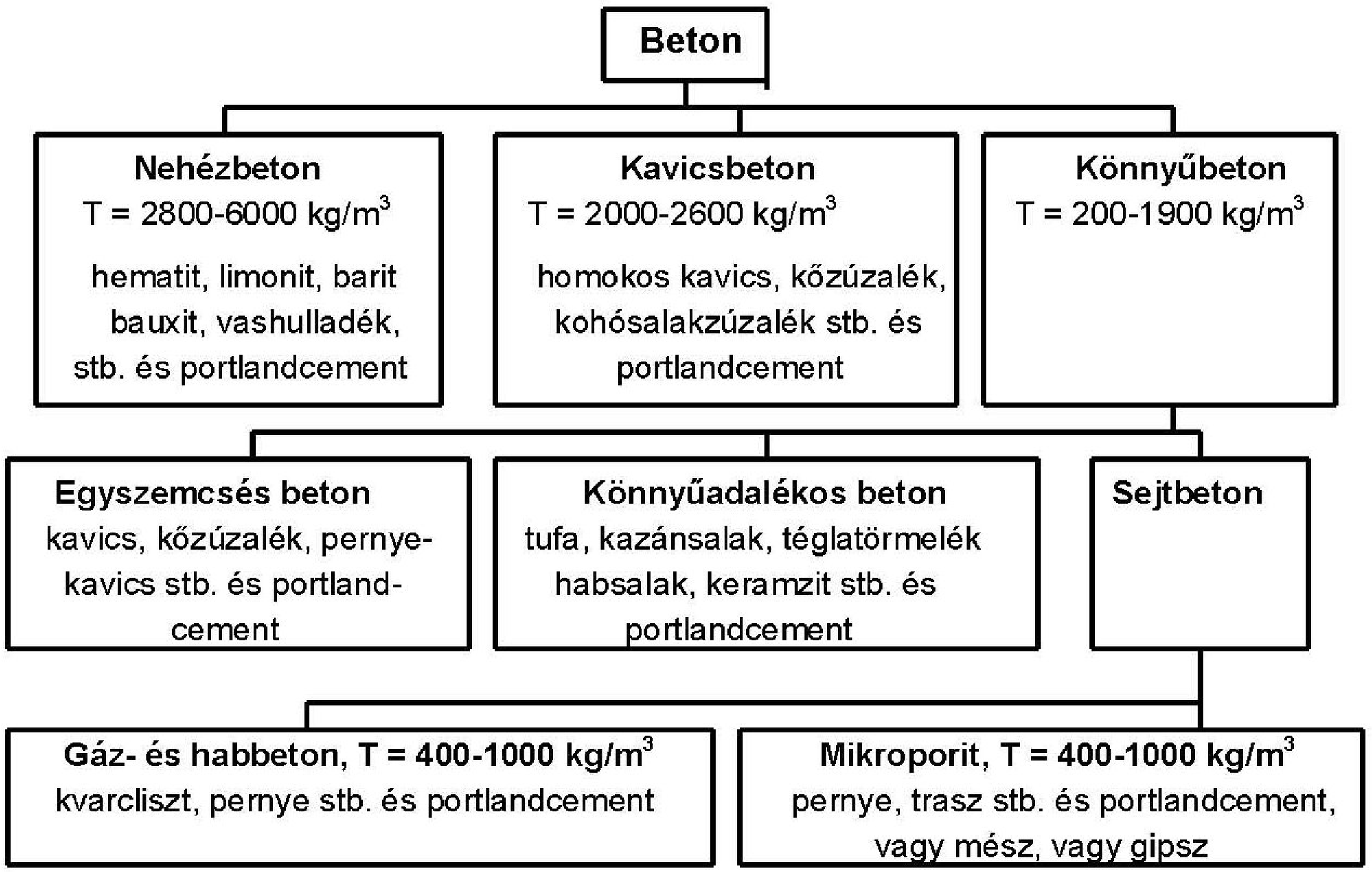
Ujhelyi János

Felsőoktatási Jegyzetellátó Vállalat, Budapest, 1960

1. BEVEZETÉS

A könnyűbetont évtizedek óta szerte a világon és az utóbbi években hazánkban is egyre nagyobb területen alkalmazzák. Előnyei közismertek: könnyű súlya és elegendő szilárdsága miatt a hagyományos kavicsbeton szerkezetek és a hagyományos falazati anyagok helyettesítésére egyaránt alkalmazható. A magasépítés területén elsősorban nagyméretű falelemek és hőszigetelő lapok készítését teszi lehetővé s főleg erre a célra használják fel. Szerkezeti hasznosítása is ismert, de elsősorban azokban az országokban, ahol a kötőanyag, a portlandcement, nagy mennyiségben és olcsón áll rendelkezésre. Feltételezhető, hogy szerkezeti anyagként elsősorban a mélyépítés területén kell számolni azokkal a könnyűbetonokkal, amelyek szilárdsága 140 kg/cm^2, vagy ennél nagyobb s térfogatsúlya 1500-1600 kg/m^3-nél még átnedvesedett állapotban is kisebb.

Jelen előadásban a hazai könnyűadalékos betonok anyagait és tulajdonságait ismertetjük. Az 1. ábrában adjuk meg a „beton" gyűjtőfogalom alá tartozó építőanyagok térfogatsúly szerint összeállított rendszerét.



1. ábra: A betonok csoportosítása térfogatsúlyuk, adalékanyaguk és kötőanyaguk alapján

Az 1. ábra szerinti rendszerben természetesen vannak átfedések is. A nehézbetont elsősorban sugárvédelmi célokra alkalmazzák, viszont 2800 kg/m^3 térfogatsúlyúnál könnyebb sugárvédő betont is készíthetünk. A könnyűbetonok csoportjába sorozott egyszemcsés beton pl. ugyanakkor tartozhat a „kavicsbeton" fogalomkörébe is, mert adalékanyaga nagyobb szilárdsági követelmények

esetén kavics, vagy kőzúzalék. Minden ilyen természetű csoportosítás önkényes, véleményünk szerint a közölt rendszerezés az egyes betontípusok egymástól eltérő technológiáját jól jellemzi. A beton fogalomköre tehát kiszélesedett s az egyetlen közös jellemző az maradt, hogy betonnak nevezzük azt az építőanyagot, amely adalékanyagból, hidraulikus tulajdonságú kötőanyagból és vízből készül.

A könnyűadalékanyagos beton készítési módja azonos a kavicsbetonokéval: a megfelelő szemszerkezetű adalékanyagot, a szükséges mennyiségű cementet és vizet összekeverjük, a formába vagy a mintadeszkázat közé bedolgozzuk, utókezeljük és megfelelő szilárdulása után tesszük ki a terhelési igénybevételeknek. Annak ellenére, hogy a két betonfajta készítési módja közös, a beton szilárdságának mérték és kialakulása szempontjából lényegesen eltérő törvényszerűségek érvényesek. Az eltérés részben az alkalmazott adalékanyagok különböző tulajdonságaiban, részben a megszilárdult betonnal szemben támasztott követelményekben gyökerezik.

A könnyűadalékos beton adalékanyaga porózus, likacsos szemcsékből álló halmaz, amelynek sajátszilárdsága (önszilárdsága) lényegesen kisebb, mint a kavicsbeton adalékanyagaié. A kavicsbetonok készítésekor megismert és megszokott törvényszerűséget és követelményt, hogy adott szilárdságú beton előállításához kétszeres szilárdságú adalékanyagra van szükség, könnyűbeton esetén nem lehet betartani. A megkövetelt szilárdság elérésére tehát a megszokottól eltérő készítési módszereket kell keresni. Ugyanakkor a kavicsbeton készítésekor azt is megszoktuk, hogy a lehető legnagyobb tömörségre kell törekedni és a beton térfogatsúlyát ne vegyük figyelembe. Ezzel szemben a könnyűbeton esetében a térfogatsúly a nyomószilárdsággal egyenértékű, sőt egyes hőszigetelő betontípusnál még fontosabb követelmény is, vagyis csak akkor készítettünk megfelelő minőségű könnyűbetont, ha az előírt szilárdságot az előírt térfogatsúllyal értük el. A térfogatsúlyt azért fontos betartani, mert falazati anyagok esetében a könnyűbeton hőszigetelését is kihasználjuk, másrészt azért, mert könnyűbeton alkalmazásával éppen az épületsúlyokat kívánjuk csökkenteni.

A könnyűadalékos beton tulajdonságait és készítési módszereit tehát két részletben tárgyaljuk: először az adalékanyagok tulajdonságaival foglalkozunk, s ezután térünk rá a beton tulajdonságainak és készítési módszereinek az ismertetésére.

2. A KÖNNYŰADALÉKANYAGOK FAJTÁI

Hazánkban a következő természetes, illetve mesterséges adalékanyagok állnak rendelkezésre: tufa, lávasalak, téglatörmelék, kazánsalak, granulált kohósalak, kohóhabsalak, porszénhamukavics, agyagkavics és perlit. A felsorolt anyagok közül a tufa és lávasalak természetes eredetű anyag, amely aprítás után használható fel, a téglatörmelék ugyancsak aprítást igényel, a kazánsalakot felhasználás előtt célszerű javítani, míg a granulált kohósalakot, kohóhabsalakot, porszénhamukavicsot, agyagkavicsot (keramzit) és perlitet duzzasztással, illetve zsugorítással készítik.

A **tufa** porózus, likacsos kőzet, amely a vulkáni működés folyamán a kráterből kiszóródott folyékony anyagok és hamuk felhalmozódásából és összecementeződéséből alakult ki. Az ilyen módon a föld felszínére került különféle vulkáni törmelék az atmoszferikus víz és levegő hatására tovább alakul. A tufakőzet tehát anyaga alapján eruptív, kialakulása szerint üledékes kőzet. A vulkáni kőzetek megjelenésükben mindig heterogének, karakterük, településük és lerakódásuk éppúgy, mint a valódi üledékes kőzeteké, gyorsan változó, a kőzetekre genetikai rendszert felállítani nem lehet, hiszen a kiszórt törmelék keményedése egy sereg kémiai átalakulással van egybekötve. A különféle kőzettípusoknak kémiai összetétele azonban hasonló ahhoz a láváéhoz, amely ugyanezen kitöréskor ebből a

kráterből felszínre került, ílymódon minden kiömlött lávás kőzetnek megvan a maga vulkáni tufája. Hazánkban riolittufa, dácittufa, andezittufa és bazalttufa található. Ez a sorrend egyúttal a könnyűadalékanyagkénti alkalmazhatóságuk minőségi sorrendje is. Legegyenletesebb minőségű a riolit- és a dácittufa, míg legegyenlőtlenebb a bazalttufa. Riolittufa elsősorban a Hegyalján és a Bükk déli részén található. Legismertebb lelőhelyek: Sátoraljaújhely, Bodrogkeresztúr, Erdőbénye, Rátka, Mád, Egertihamér, Andornak-tálya, Noszvaj, Tarnaszentmária, Sirok stb. Dácittufa a Mátrában fordul elő, legismertebb lelőhelye Tar. Andezittufát a Mátrában, a Börzsönyben és a Pilisben (ismertebb lelőhelyei Selyp, Gyöngyös, Abasár, Nógrádverőce, Szentendre stb.), míg bazalttufát a Balaton-i hegyvidéken bányásznak.

Könnyűadalékanyagos beton készítésére alkalmazható tufa hazánkban több százmillió m^3 mennyiségben található. Jelenleg Bodrogkeresztúron és Tarnaszent-márián bányásznak tufát, Bodrogkeresztúron 1959 évben épül fel az első magyarországi kézielemgyár.

A **lávasalak** ugyanúgy, mint a tufa, eruptív kőzet, rendszerint a vulkáni kiömlések felsőbb rétegeiben található. Feltételezhető, hogy kialakulása során hasonló jelenségek játszódtak le, mint a kohóhabsalak készítésekor, vagyis az izzón folyó láva víztükörre ömlött. Megjelenési formája, pórusainak alakja és tulajdonságai is egyezőek a habosítás után hűtés nélkül megszilárdult kohóhabsalakkal: kristályos szerkezetű, 5-8 mm átmérőjű, vékonyfalú zárt buborékokkal.

Lávasalak a Balaton-i hegyvidéken található kisebb mennyiségben. Badacsonytördemice környékén vörösesbarnás színű, apróbb pórusú lávasalak van, a kőzet azonban eléggé heterogén, így betonadalékanyagként inkább csak helyileg használható fel.

A **téglatörmeléket** elsősorban a 2. világháború után Németországban hasznosították, ahol a nagymértékű romosodásból kikerülő anyagot tisztítás, esetleg utánégetés útján alkalmazták beton adalékanyagaként. A téglatörmelék tulajdonságait az határozza meg, hogy milyen minőségű volt az a tégla, amelyből az anyag kikerült. Mivel a téglatörmelék anyaga általában igen változó minőségű, a belőle készített beton egyenletessége sem érhető el egykönnyen.

Hazánkban téglatörmelék nem található nagy mennyiségben, ezért felhasználása elsősorban a lelőhely környékére korlátozódik, így csak helyi anyagként vehető számításba.

A **kazánsalak** ipari, rostélytüzelésű kazánokban elégetett szén maradéka. A kazánsalak minősége a szén minőségétől függ, elsősorban antracit- és kőszénsalak kedvező betonkészítéshez. A barnaszén salakja általában túlságosan nagymennyiségű elégetlen szenet tartalmaz és kéntartalma is kedvezőtlen. Mivel hazánkban jóformán kizárólag barnaszén áll rendelkezésre, ezért a salak alkalmazása során kellő gondossággal kell eljárni. Célszerű az anyagot felhasználás előtt javítani, pl. utánégetéssel. Az utánégetéshez a salakot néhány méter szélességben és 1-2 m vastagságban halmozzuk fel, középen olajos ronggyal, fadarabkákkal stb. meggyújtjuk és néhány heti égetés után az adalékanyag kéntartalmának kismértékű csökkenésére is számíthatunk.

Hazánkban jelenleg Salgótarjánban és Tatabányán termelnek ki a régi salakhányókból adalékanyagot, míg a Pécsujhegy-i salakhányó anyagát a Baranyamegyei Építő Vállalat utánégetéssel javítja és így használja fel betonadalékanyagként.

A **granulált kohósalakot** a nagyolvasztók melléktermékeként nagymennyiségben keletkező kohósalakból állítják elő. A kohósalak hasznosítása fontos népgazdasági feladat, mert a különben értéktelen ipari melléktermék elszállítása és tárolása igen költséges. A kohóból kikerülő, izzón folyós salakot nagymennyiségű vízben hirtelen lehűtik, miáltal az anyag apró szemcsékre szétesve – granulálódva – hirtelen megmerevedik, és gyorsan lehűl. Az üveges állapotú anyag megőrölve igen kedve-

ző hidraulikus tulajdonságokkal rendelkezik, eredeti állapotában könnyűbeton adalékanyagként, vagy habarcs adalékanyagként is alkalmazható.

Granulált salakot a Dunai Vasműben, Diósgyőrött és Ózdon állítanak elő, évente kb. 150 000 m^3 mennyiségben.

A **kohóhabsalak**, vagy röviden **habsalak** a folyékony kohósalak habosítása és további feldolgozása útján keletkező porózus építőanyag. Hazánkban az ózdi Kohóművek területén először a Bányászati Építő Vállalat foglalkozott salakhabosítással homokágyban, a rendszeres kísérleteket a Dunai Vasműben az ÉTI folytatta le s jelenleg a kísérletek során kidolgozott módszerrel habosítanak, hálósan átlyukasztott vastálcán. A lyukak víznyomó csövekkel vannak összekötve és fúvókaként működnek. Az izzón folyós kohósalakot a tálcába öntjük, ezzel egyidejűleg a salak alá vizet fúvunk. A lyukakból szökőkútszerűen feltörő víz habosítja fel a még folyékony, izzó salakot.

Hazánkban 1960 évben a Dunai Vasműben az ÉM. 25. ÁÉV kezelésében lévő habsalaküzem kb. 30000 m^3, a diósgyőri és az ózdi kísérleti tálca összesen kb. 15000 m^3 habsalakot állít elő. A Dunai Vasmű új habosító berendezéssel 1961 évben már kb. 250 000 m^3 habsalakot fog gyártani.

Porszénhamukavicsot a porszéntüzelésű kazánok hamujából zsugorítással állítják elő. Alapanyag tehát ipari hulladék, amelynek elszállítása és tárolása erőműveinknek tetemes költséget jelent, így feldolgozása és építőipari alkalmazása népgazdasági érdek. A porszénhamuhoz kis mennyiségű őrölt meddőszenet és esetleg néhány százalék agyagot kevernek, vízpermetezés közben golyókká formálják, majd vagy aknakemencében ventilláció segítségével, vagy forgókemencében pl. olajtüzeléssel, vagy zsugorító szalagon égetik ki, miközben az anyag zsugorodik, a pórustartalom ugyanakkor megnő. A porszénhamukavics gyártási eljárását hazánkban az ÉTI dolgozta ki.

A porszénhamukavics ipari előállítása még nem kezdődött meg, remélhető, hogy az ez évi félüzemi kísérletek eredményeképpen ennek az igen jóminőségű betonadalékanyagnak a gyártása is rövidesen megindulhat.

Az **agyagkavics** duzzadó agyagféleségből előállított adalékanyag. Egyes agyagfajtákban ugyanis magas hőfokon gázok keletkezhetnek egyes agyagalkotórészek reakciói révén. A duzzadást elsősorban a vasoxidnak az égetési folyamat alatt lejátszódó bomlása, vagy redukciója okozza. A duzzadás mértéke az eredeti térfogat 2-8-szorosa is lehet. Az égetést gyorsan kell végrehajtani, 1100 °C körüli hőmérsékleten. Agyagkavicsot vagy vándorrostélyos, vagy forgókemencés eljárással állítnak elő.

A hazai agyagkavics gyártás technológiáját az ÉaKKI kísérletezte ki. Ez évben kezdte el működését Budapesten a Parafakőgyárban egy évi kb. 25000 m^3 agyagkavicsot előállító üzem. A Baranya megyei Építőipari Vállalat ugyancsak foglalkozott néhány éven át duzzasztott agyagkavics készítésével, jelenleg azonban az üzem átalakítása miatt a gyártás szünetel.

A **perlit** vulkanikus eredetű üveg, amely a föld felszínére kiömlött riolitláva gyors lehűlésekor keletkezett. A föld belsejében lévő magma nagy mennyiségű vizet tartalmaz, amely a kitöréskor gőz alakjában általában eltávozik. Ha a felszínre jutó láva gyorsan hűl le, a víz egyrésze nem képes eltávozni és az üveges kőzetben visszamarad. A perlitkőzet víztartalma 3-6 % között ingadozik. Ha a perlitet hirtelen 900-1200 °C-ra hevítik, akkor a víztartalom gőzzé válik és a piroplasztikus állapotban lévő anyagot felduzzasztja. A perlit duzzasztásának a lényeges az, hogy a víztartalom gőzzé válása és az anyag olvadék állapotba kerülése egybeesik. A perlit gyártásának technológiáját hazánkban az ÉaKKI dolgozta ki.

Magyarországon perlit nagy mennyiségben található, jelenleg a Budapesti Parafakőgyárban, a nyíregyházi Tanács vállalatainál és a székesfehérvári Könnyűfémmű építkezésén készítenek perlitet, kb. évi 50000 m^3 mennyiségben.

3. A KÖNNYŰADALÉKANYAGOK JELLEMZŐI

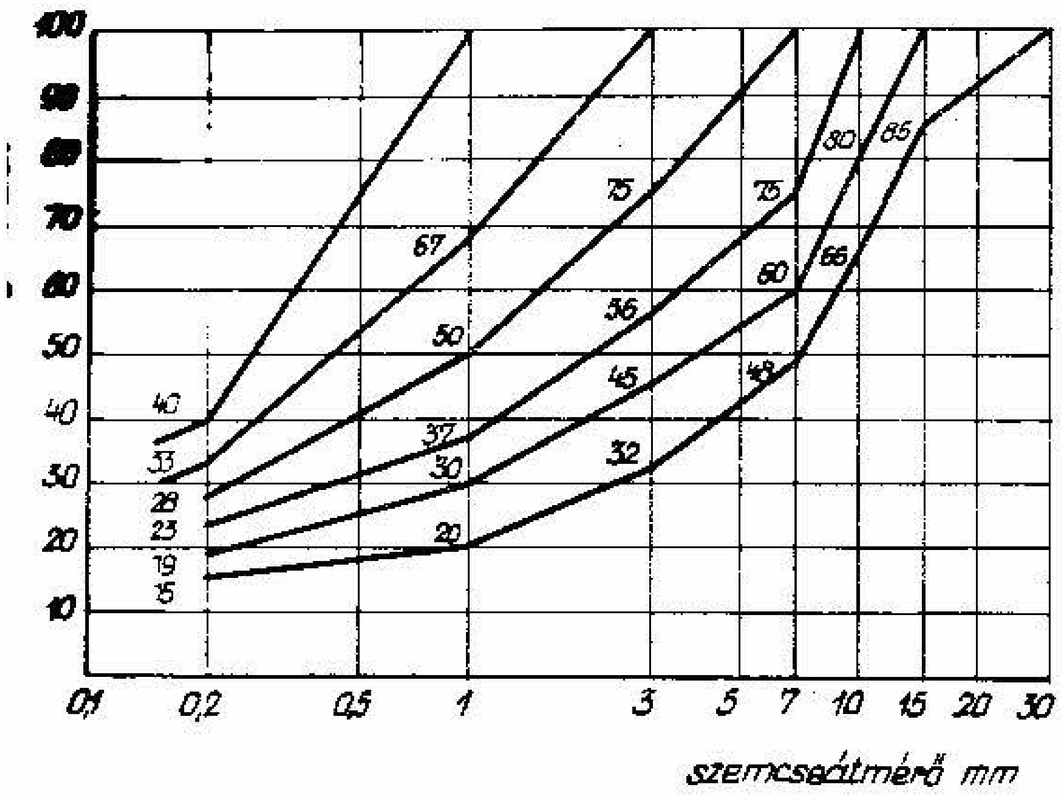
A könnyűadalékanyagok legfontosabb jellemzői a halmaztérfogatsúly, az önszilárdság, a pórustartalom, valamint a vízfelvétel sebessége és mértéke.

3.1. Halmaztérfogatsúly

Az adalékanyag halmaztérfogatsúlya az egységnyi térfogatban lazán elhelyezkedő adalékanyag szemcsék súlya. Mérésére olyan 10 literes hengeres mérőedényt alkalmazunk, amelynek *d* átmérője és *m* magassága azonos: d = m = 23,25 cm. A halmaztérfogatsúly értékét kg/m^3-ben fejezzük ki. A szemcséket óvatosan szórjuk az edénybe úgy, hogy a felesleges anyag az edény peremén túlömöljék. A felesleget az edény tetejéről vasvonalzóval húzzuk le, ügyelve arra, hogy lehúzás közben ne tömörítsük az anyag felületét sem. Az üres edény G_1 és a megtöltött edény G_2 súlyát gramm pontossággal mérjük meg. A halmaztérfogatsúly (S_H):

$$S_H = \frac{G_2 - G_1}{H} \qquad \text{kg/m}^3$$

ahol *H* = az edény térfogata literben.



2. ábra: Az adalékanyagok halmaztérfogatsúlyának megállapítására alkalmazott szemszerkezetek

A halmaztérfogatsúlyt különböző szemszerkezetű és maximális szemnagyságú adalékanyagon állapíthatjuk meg. Az előírások hazánkban és külföldön is egyaránt a 7-15 mm szemnagyságú adalékanyag szemcsecsoport halmaztérfogatsúlyát fogadják el összehasonlítási és minősítési alapként. Ez alól kivétel a perlit, mert ennek maximális szemnagysága kb. 3 mm, ezért a 0-3 mm folyamatos szemszerkezetű adalékanyag halmaztérfogatsúlya alapján minősítjük. A továbbiakban tehát a perlit kivételével a könnyűadalékanyagok halmaztérfogatsúlya alatt a 7-15 mm-es szemcsék halmaztérfogatsúlyát értjük. Az ÉTI-ben megvizsgáltuk egyéb adalékanyag frakciók halmaztérfogatsúlyát is, amelyek szemszerkezetét a 2. ábrán mutatjuk be.

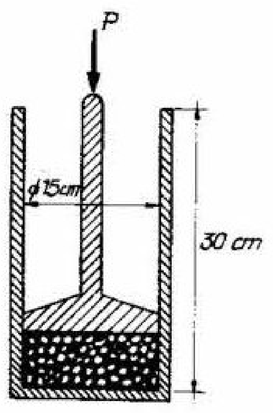
A 2. ábra szerinti szemszerkezetű adalékanyagok halmaztérfogatsúlyát – adalékanyag fajtától függően – az 1.táblázatban közöljük. A táblázat eredményeiből mindenek előtt azt kell megjegyeznünk, hogy azok egy-egy vizsgálatsorozat átlageredményei, ugyanis egy-egy adalékanyag fajtán belül is nagyobb ingadozásokra lehet számítani. Az ÉTI laboratóriumban eddig vizsgált adalékanyag fajták esetében a halmaztérfogatsúlyok a következőképpen ingadoztak:

1. bodrogkeresztúri riolittufa 660-810 kg/m^3
2. mindszentkállai lávasalak 650-950 kg/m^3
3. téglatörmelék (átlag 100 kg/cm^2 szilárdságú téglából) 670-920 kg/m^3
4. salgótarjáni kazánsalak 570-820 kg/m^3
5. diósgyőri granulált kohósalak 840-970 kg/m^3
6. dunaújvárosi kohóhabsalak 550-1350 kg/m^3
7. porszénhamukavics 540-860 kg/m^3
8. duzzasztott agyagkavics 230-560 kg/m^3
9. perlit 80-190 kg/m^3

1. táblázat Különböző szemszerkezetű könnyűadalékanyagok halmaztérfogatsúlya (a sorszámok a fentieknek megfelelők)

Szemcseméret, mm	*Adalékanyag sorszáma*								
	1	*2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*	*9*
7-15	*750*	*720*	*760*	*780*	*950*	*720*	*580*	*240*	-
0-0,2	*850*	*1090*	*850*	*710*	*1050*	*1150*	*820*	*670*	*40*
0,2-1	*830*	*1080*	*790*	*720*	*1090*	*1050*	*720*	*380*	-
1-3	*790*	*860*	*760*	*750*	*1130*	*930*	*620*	*300*	-
3-7	*770*	*780*	*760*	*780*	*1130*	*810*	*550*	*250*	-
15-30	*690*	*670*	-	-	-	*630*	*820*	*200*	-
0-1	*940*	*1210*	*970*	*800*	*1250*	*1300*	*870*	*510*	-
0-3	*950*	*1220*	*980*	*820*	*1370*	*1300*	*850*	*460*	*140*
0-7	*980*	*1200*	*990*	*900*	*1360*	*1190*	*820*	*420*	-
0-10	*1000*	*1100*	*1020*	*910*	*1390*	*1150*	*810*	*370*	-
0-15	*1000*	*1070*	*1020*	*990*	*1370*	*1080*	*800*	*340*	-
0-30	*950*	*1010*	-	-	-	*1030*	*780*	*320*	-

Nyilvánvaló, hogy minél porózusabb, minél kisebb halmaztérfogatsúlyú az adalékanyag, annál könnyebb a belőle készített beton. A természetes eredetű és kezeletlen adalékanyagok halmaztérfogatsúlya adott, a mesterséges úton előállított adalékanyagokét az alapanyag minősége és a duzzasztás, illetve zsugorítás módja szabja meg.



3. ábra: Hummel-féle önszilárdság vizsgálat

3.2. Önszilárdság

A szemcsés anyagok önszilárdságának megállapítására sokféle vizsgálati módszerrel próbálkoztak hazánkban és külföldön is egyaránt. E vizsgálati módszerek egységesen a szemcsés anyagok bizonyos mértékű terhelésén alapulnak: Az összehasonlítás mértékszáma vagy az összenyomódás nagysága, vagy az adott összenyomódáshoz szükséges erő, vagy az aprítódás mértéke adott nyomás mellett. Hazánkban *Hummel* módszerét fogadtuk el az adalékanyagok önszilárdságának a vizsgálatára. Ez a módszer a következő:

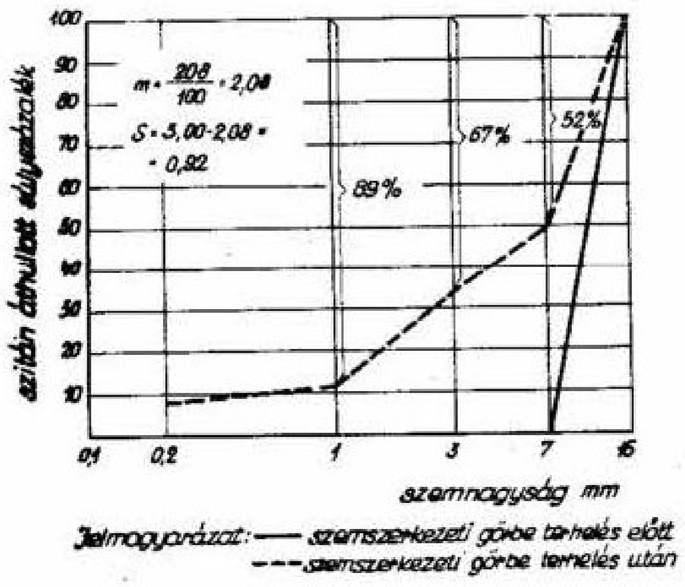
Meghatározzuk a 7-15 mm-es szemcseméretű száraz adalékanyag halmaztérfogatsúlyát. A halmaztérfogatsúly ismeretében súlyméréssel 0,5 liter

7-15 mm-es adalékanyagot mérünk ki, amelynek összetétele: 7-10 mm-es rész 40-60 súly %, 10-15 mm-es rész 60-40 súly %. A kimért anyagot 5 cm átmérőjű fémhenger alján egyenletesen szétterítjük, majd a 3. ábra szerinti módon 5 tonna erővel fokozatosan megterheljük. A terhelést 1,5 perc alatt növeljük a maximális értékig. A terhelés alatt az anyag – szilárdságától függően – szétmorzsolódik. A szétmor-zsolódás mértékét az eredeti (7-15 mm-es) és a szétmorzsolt (0-15 mm-es) anyag 1, 3 és 7 mm-es szitán mért finomsági modulusainak a különbségével jellemezhetjük. A 7-15 mm-es eredeti anyag finomsági modulusa 3,0 s így a szétmorzsolódási tényező (Sz_t):

$$Sz_t = 3{,}00 - m$$

Ahol m = a szétmorzsolt anyag 1, 3 és 7 mm-es szitán mért finomsági modulusa.

A szétmorzsolódási tényező számítását a 4. ábrán látható példával mutatjuk be.



4. ábra: Példa a szétmorzsolódási tényező számításár

A hazai könnyűadalékanyagok szétmorzsolódási tényezőit különböző halmaztérfogatsúlyok mellett a 2. táblázat tartalmazza.

A 2. táblázatban nem találhatók meg a perlit szétmorzsolódási tényezőjének az adatai, mert – mint említettük – a perlit maximális szemnagysága kb. 3 mm, így szétmorzsolódása a megadott módon nem állapítható meg. A táblázat adatai szerint azonos halmaztérfogatsúly mellett is a különböző adalékanyagok szétmorzsolódási tényezője – azaz önszilárdsága – egymástól nagymértékben különbözik, pl. 700 kg/m^3 halmaztérfogatsúly esetén legkisebb szétmorzsolódási tényezőjű – azaz legnagyobb önszilárdságú – a pernyekavics, míg legnagyobb szétmorzsolódási tényezőjű – azaz legkisebb önszilárdságú – a kazánsalak. Ebből viszont az következik, hogy az azonos halmaztérfogatsúlyú adalékanyagok közül abból lehet azonos betontérfogatsúly mellett a legnagyobb nyomószilárdságú betont készíteni, amelynek önszilárdsága legnagyobb, azaz szétmorzsolódási tényezője legkisebb, mert megszokott kavicsbeton-szemléletünk szerint a nagyobb betonszilárdsághoz nagyobb adalékanyag-szilárdság kell. Könnyűbetonra azonban ez a szemlélet – mint ahogy azt a későbbiek folyamán fogom bizonyítani – nem mindenben általánosítható. Adott adalékanyagfajta (pl. kohóhabsalak) esetében azonban kisebb önszilárdságú anyagból általában kisebb szilárdságú betont tudunk előállítani, egyébként azonos összetétel és készítési mód mellett.

2. táblázat: Különböző halmaztérfogatsúlyú adalékanyagok szétmorzsolódási tényezői (a sorszámok az 1.táblázat szerintiek)

Halmaztérfogatsúly, kg/m^3	*Adalékanyag sorszáma (lásd 1. táblázatot)*							
	1.	*2.*	*3.*	*4.*	*5.*	*6.*	*7.*	*8.*
250								2,18
350								1,66
450								1,07
550						1,44	0,44	
600				1,46		1,30	0,40	
650				1,37		1,15	0,37	
700	0,65	0,90	0,88	1,28		1,00	0,35	
750	0,53	0,82	0,85	,19		0,85	0,29	
800	0,40		0,80	1,11		0,70	0,25	
850			0,72		1,46	0,56	0,20	
900			0,62		1,45			
950					1,43			

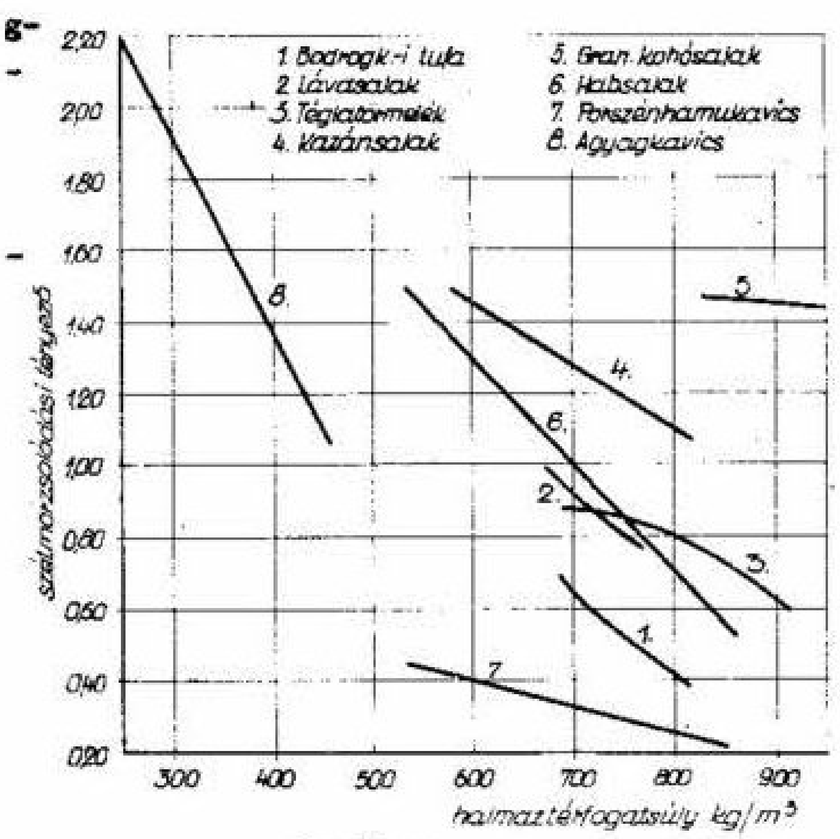
A táblázat adataiból még más törvényszerűség is megállapítható: ha növekszik az adott adalékanyag halmaztérfogatsúlya, akkor növekszik önszilárdsága is, vagyis a nehezebb adalékanyag szilárdsága is nagyobb. A halmaztérfogatsúlynak és a szétmorzsolódási tényezővel jellemzett önszi-

lárdságnak fenti korrelációja szoros, elegendő mérési adat esetén képlettel is kifejezhető. A kohóhabsalak adalékanyagra azt találtuk, hogy az S_H halmaztérfogatsúlyból az Sz_t szétmorzsolódási tényező a következő képlettel számítható:

$$Sz_t = 3{,}058 - 0{,}00294 \times S_H$$

Valószínűleg hasonló összefüggés vezethető le a többi adalékanyagra is, egyelőre azonban még kevés adat áll rendelkezésünkre.

A 2. táblázat eredményeit az 5. ábrán is feldolgoztuk. Az ábrán jól látható, hogy az egyes adalékanyag-fajták önszilárdsága a halmaztérfogatsúly függvényében hogyan alakul. A porszénhamukavics a legszilárdabb adalékanyag, majd sorrendben a bodrogkeresztúri riolittufa, a mindszentkállai lávasalak, a téglatörmelék (100 kg/cm^2 átlagszilárdságú téglából), a dunaújvárosi kohóhabsalak, a kazánsalak, az agyagkavics és a diósgyőri granulált kohósalak következik. Ehhez a sorrendhez azonban még meg kell jegyeznünk, hogy az agyagkavics önszilárdsága a halmaztérfogatsúly növelése esetén feltételezhetően megközelíti a porszénhamukavics önszilárdságát. A diósgyőri granulált kohósalak önszilárdsága azért olyan kedvezőtlen, mert a 7-15 mm szemnagyságú granulum, amely az önszilárdság vizsgálatához szükséges, csak elvétve található az anyagban s ezek a szemcsék elsősorban azért nem szilárdak, mert felületük – az anyag gyártási módja miatt – már eleve morzsalékony. Joggal feltételezhető, hogy a kisebb, már lemorzsolódott szemcsék a nagyobbaknál jóval szilárdabbak.



5. ábra

5. ábra: Különböző adalékanyag fajták halmaztérfogatsúlyának és szétmorzsolódási tényezőjének összefüggése

A halmaztérfogatsúlynak és az önszilárdságnak a beton szilárdságára gyakorolt hatásáról – az adalékanyag fajtájától függően – a későbbiekben lesz szó.

3.3. Pórustartalom

A könnyűadalékanyag-halmazok pórustartalma a szemcsék pórustartalmának (szemcsepórustartalom) és a szemcsék közötti hézagokban lévő levegőnek (halmazpórustartalom) az összege. A szemcsék pórustartalmát (p_{sz}) az adalékanyag fajsúlyának (F) és térfogatsúlyának (T) ismeretében a

$$p_{sz} = \frac{F - T}{F} \times 100 \ \%$$

képletből állapíthatjuk meg. Az adalékanyag teljes pórustartalmát (p) az adott szemszerkezetű adalékanyag halmaztérfogatsúlya (S_H) és a fajsúly (F) ismeretében a

$$p = \frac{F - S_H}{F} \times 100 \ \%$$

képletből számíthatjuk. A p_H halmazpórustartalom értéke:

$$p_H = p - p_{sz} \ \%$$

A szemcsepórustartalom számításához tehát szükség van az adalékanyag térfogatsúlyának és fajsúlyának az ismeretére. A fajsúly meghatározására szabványelőírások vannak, a térfogatsúlyt több nagyobb kiszárított szemcse súlyának és térfogatának mérési eredményeiből számíthatjuk ki. A

térfogat mérésére alkalmazható a parafinos eljárás, azaz a parafinnal vékonyan bevont szemcséket víz alá merítjük és mérjük a kiszorított víz mennyiségét. Elegendő számú méréssel a szemcse-térfogatsúly, és ebből a szemcsepórustartalom kellő biztonsággal meghatározható.

Az adalékanyag összes pórustartalmát halmaztérfogatsúlya és fajsúlya ismeretében számíthatjuk. A halmaztérfogatsúly meghatározására pl. az MSZ 4713 szabvány ismertet eljárásokat. Az adalékanyag összes pórustartalma attól függ, hogy az adalékanyagot a halmaztérfogatsúly mérésekor milyen mértékben tömörítettük. Mivel a halmaztérfogatsúly szabványos vizsgálata során az anyagot lazán töltjük a mérőhengerbe, ezért az összes pórustartalom összehasonlító adatai is lazán betöltött anyagra vonatkoznak.

A halmazpórustartalom az összes pórustartalom és a szemcsepórustartalom különbsége. A hazai adalékanyagok szemcse- és halmazpórustartalmát, illetve összes pórustartalmát a fenti módon határoztuk meg. A vizsgálatok eredményeit a 3. táblázatban közöljük.

3. táblázat: Különböző könnyű adalékanyagok pórustartalma 7-15 mm-es és adott szemszerkezetű 0-15 mm-es anyagon mérve (az adalékanyagok sorszáma az 1. táblázat szerinti)

Megnevezés	*1.*		*2.*		*4.*		*6.*		*7.*		*8.*	
	sorszámú adalékanyag szemnagysága, mm :											
	7-15	*0-15*	*7-15*	*0-15*	*7-15*	*0-15*	*7-15*	*0-15*	*7-15*	*0-15*	*7-15*	*0-15*
Fajsúly, g/cm³	2,50		3,16		2,65		2,81		2,86		2,37	
Térfogatsúly, g/cm³	1483		1732		1378		418		1130		625	
Halmaztérfogatsúly, g/cm³	750	1004	720	1073	780	987	720	1080	580	801	240	335
Szemcsepórustartalom, %	40,7		45,2		48,0		49,6		60,5		75,6	
Halmazpórustartalom, %	29,5	19,1	33,0	20,9	21,5	14,9	24,8	11,9	19,3	11,5	16,2	12,3
Pórustartalom, %	70,0	59,8	78,2	66,1	70,5	62,9	74,4	61,5	79,8	72,0	89,8	85,9

A 3. táblázatban egyrészt a 7-15 mm-es szemcsékből álló halmaz, másrészt a 2. ábra szerinti szemszerkezetű 0-15 mm-es anyag pórustartalmát adjuk meg. A 3. táblázat adataiból megállapítható, hogy a halmazpórustartalom a 7-15 mm-es szemcsék esetében 16,2 és 33,0 %, míg a 0-15 mm-es folyamatos szemszerkezet esetében11,5-20,9 % között változik, ezzel szemben a szemcsepórustartalom változása 40,7-73,6 % között ingadozik, adalékanyagfajtától függően. Ebből viszont az következik, hogy az adalékanyag keverék összes pórustartalmának alakulására elsősorban a szemcsepórustartalom van hatással, a halmazpórustartalom változása pedig kisebb jelentőségű.

A beton halmaztérfogatsúlya az adalékanyag keverék pórustartalmával összefügg: azonos fajsúly esetén minél nagyobb a pórustartalom, annál könnyebb az adalékanyag, annál könnyebb a beton, kimondható tehát, hogy a könnyű adalékanyagos beton bedolgozása során bizonyos határok között nem a tömörítés mértéke szabja meg a beton térfogatsúlyát, hanem elsősorban a helyesen megválasztott adalékanyag.

Példaképpen hasonlítsuk össze a vizsgált agyagkavics és porszénhamukavics pórustartalmának értékeit, mert ezek az adalékanyag fajták egyébként hasonló jellegűek. Az egyszemcsés porszénhamukavics összes pórustartalma 97,8 %, míg a folyamatos szemszerkezetű agyagkavicsé 85,9 %, vagyis az 580 kg/m^3 halmaztérfogatsúlyú porszénhamukavicsból semmilyen eljárással sem tudunk olyan pórustartalmat elérni, tehát olyan könnyű súlyú betont készíteni, mint a 240 kg/m^3 halmaztérfogatsúlyú agyagkavicsból.

3.4. A vízfelvétel mértéke és sebessége

A könnyűadalékanyagok vízfelvételének mértékén kívül a beton készítési technológiája szempontjából célszerű ismernünk a vízfelvétel sebességét is.

A vízfelvétel nagyságát fokozatosan víz alá merítéssel kell vizsgálni. A betonkészítéshez alkalmazott adalékanyag keverékből átlagmintát veszünk, ezt súlyállandóságig szárítjuk és gramm pontossággal lemért edénybe öntjük. Az edény és a száraz anyag súlyát ugyancsak gramm pontossággal állapítjuk meg.

Először csak annyi vizet töltünk az edénybe, hogy a vízszint 1 m magasságú legyen. Ezután óránként 1 cm-rel emeljük a vízszintet addig, amíg az adalékanyagot ellepi. Az anyagot legalább 24 órán át tartjuk víz alatt, ezután óvatosan leöntjük a vizet, nehogy a vízzel együtt az adalékanyag finom részeit is eltávolítsuk. Leghelyesebben akkor járunk el, ha a vizet gumicsővel, vagy üvegcsővel szívjuk le. Ezt követően lemérjük az edény és az adalékanyag együttes súlyát. A vízfelvétel (V súly %) értéke

$$V = \frac{A_v - A_{sz}}{A_{sz}} \times 100 \quad \%$$

képletből számítható, ahol A_v = a vízzel telített adalékanyag súlya, gramm

A_{sz} = a száraz adalékanyag súlya, gramm

A vízfelvétel sebességének vizsgálatához 1 liter, 0-15 mm szemnagyságú, a beton készítéséhez alkalmazott szemszerkezetű száraz adalékanyagot alul nyitott, 10 cm átmérőjű bádogtálba állított üveghengerben egyenletesen elosztjuk. A bádogtálba annyi vizet töltünk, hogy a víznívó az edény aljától 2 cm magasságban legyen. Az üveghenger oldalát mm-es beosztással kell ellátni, a beosztás 0 pontja a henger alján kezdődjék.

A beöntés pillanatától kezdve az anyag kapillárisan szívja fel a vizet, a vízfelszívás magassága a beosztáson leolvasható. Leolvasást ½, 1, 2, 5, 10, 20 és 60 perc után, majd 2,3,4 és 8 óra múlva végezzünk, a leolvasás eredményeit jegyezzük fel. Mivel a víznívó ez alatt az idő alatt csökken, annyi vizet töltünk időközben az edénybe, hogy a víznívó magassága állandóan 2 cm legyen. Ha a mérési adatokból diagramot szerkesztünk, akkor a vízfelszívás lefolyását ábrázoltuk.

A közölt vizsgálati módszerekkel határoztuk meg a hazai könnyű adalékanyagok vízfelvételének a mértékét és vízfelszívásának a sebességét. A vízfelvétel vizsgálatának az eredményeit a 4. táblázatban közöljük.

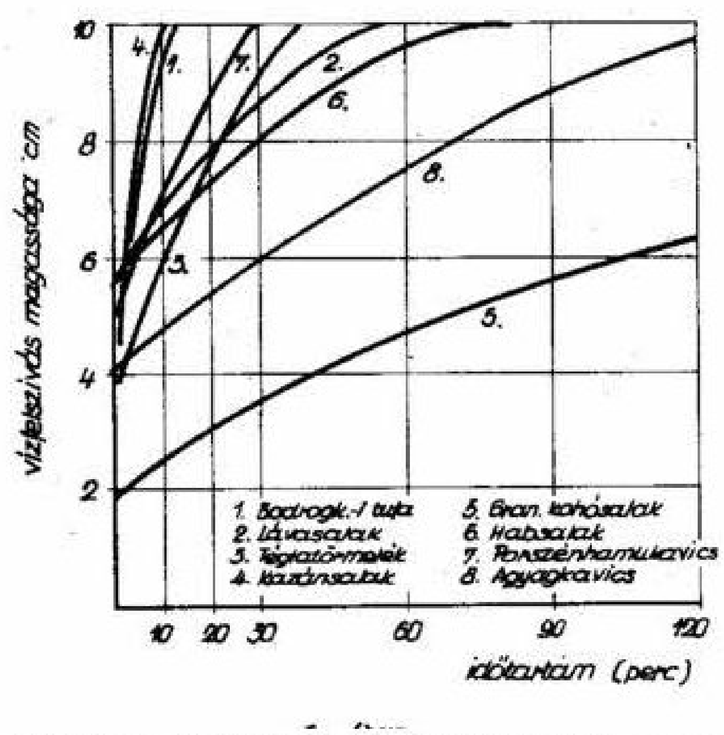
4. táblázat: Különböző szemszerkezetű könnyű adalékanyagok vízfelvétele, súly %
(az adalékanyagok sorszáma az 1. táblázatnak megfelelő)

Szemcse-méret, mm	*1.*	*2.*	*3.*	*4.*	*5.*	*6.*	*7.*	*8.*	*9.*
	sorszámú könnyű adalékanyag								
0 – 1	51	36	79	76	34	38	70	132	
0 – 3	49	33	72	56	27	35	66	131	360
0 – 7	45	32	67	55	23	33	59	105	
0 – 10	41	25	62	45	17	26	56	95	
0 – 15	38	24	50	42	16	25	53	87	
0 – 30	36	20	42			22	48	62	
7 –15	32	17	38	17	11	20	37	37	

A 4. táblázatban közölt eredmények szerint legnagyobb a súlyszázalékban kifejezett vízfelvétele a perlitnek, legkisebb a diósgyőri granulált kohósalaknak.

Mivel azonban a halmaztérfogatsúlyok különbözőek, ezért a térfogatszázalékban kifejezett vízfelvételek más tendenciát mutatnak. Ha a 2. táblázatban megadott halmaztérfogatsúlyok segítségével kiszámítjuk a vízfelvételt térfogat százalékban, akkor például 0-3 mm szemcseméret esetén a következő adatokat kapjuk:

Adalékanyag sorszám:	*1.*	*2.*	*3.*	*4.*	*5.*	*6.*	*7.*	*8.*	*9.*
Vízfelvétel, térfogat %:	*46,6*	*40,3*	*70,6*	*45,9*	*37,0*	*45,5*	*54,8*	*60,3*	*50,4*



6. ábra: Különböző fajtájú 0-15 mm-e adalékanyagok vízfelszívási sebessége

E szerint a legnagyobb vízfelvételű a téglatörmelék és legkisebb a granulált salak.

A vízfelszívás sebességét különböző hazai könnyű adalékanyagokra a 6. ábrán tüntettük fel.

A vízfelvétel nagysága és a vízfelszívás sebessége a 4. táblázat és a 6. ábra összevetése szerint nincs összhangban. Az agyagkavics 0-15 mm-es szemcsecsoportja pl. 87 súly % vizet vesz fel, a vizsgált adalékanyagok közül ennél több vizet csak a perlit szív fel, ugyanakkor vízfelszívásának a sebessége lassú, még 2 óra után sem fejeződik be. Ezzel szemben a habsalak csekélyebb vízfelvétele mellett gyorsan szívja fel a vizet.

Ezek az adatok egyrészt a beton készítése során az előnedvesítés szükségességére adhatnak felvilágosítást, másrészt az utókezelés mértékére és szükségességére engednek következtetni, mint ezt később látni fogjuk.

4. A KÖNNYŰBETON ÖSSZETÉTELÉNEK ÉS TULAJDONSÁGAINAK AZ ÖSSZEFÜGGÉSE

A könnyűbeton általában vagy csak hőszigetelő elemként, vagy hőszigetelő és teherhordó elemként, vagy csak teherhordó elemként alkalmazható. Főleg közepes szilárdságú betonok (BK 50 – BK 140) készítésére használják fel, megjegyzendő azonban, hogy Észak-Amerikában, ahol a könnyűbeton alkalmazásának már több évtizedes múltja van, BK 500 – BK 700 minőségű betonból is gyártanak építőelemeket. Felhasználható ezen kívül a könnyűbeton kis térfogatsúlyú és kis szilárdságú hőszigetelő anyagként is előregyártott elemek, vagy esetleg a helyszínen felhordott hőszigetelő vakolatok formájában. Az ÉTI eddigi laboratóriumi vizsgálatai és néhány építkezésen szerzett tapasztalatai szerint a hazai könnyű adalékanyagokkal – adalékanyag fajtától függően – 200-1900 kg/m^3 térfogatsúlyú, 2-400 kg/cm^2 nyomószilárdságú betonok készíthetők még gazdaságos körülmények mellett.

A könnyűbeton elemek és szerkezetek tervezése során természetesen figyelembe kell venni az ebben a fejezetben tárgyalt tényezőket, nevezetesen azt, hogy a különböző szilárdsági kategóriákhoz tarozó könnyűbetonokat milyen cementadagolással, milyen térfogatsúllyal, milyen tömörítési munkával stb. lehet előállítani. Ennek alapján dönthető el az alkalmazott betonminőség gazdaságossága.

A tárgyalt kísérletekből levont következtetések és szabályok csak a hazánkban szokványos módszerekkel készített könnyűbetonokra vonatkoznak. A könnyű adalékanyagos beton készítésének

fejlődése lehetővé teszi, hogy a jövőben kedvezőbb minőségű könnyűbetonokat is állíthassunk elő. Ehhez azonban szükséges, hogy pl. a betonkiegészítő anyagok ipari gyártását megoldjuk, vagy külföldről hozzunk be ott már kipróbált kiegészítő anyagokat (plasztifikáló, légpórusképző stb.), illetve a könnyűbeton tömörítésére alkalmas nagyfrekvenciájú vibrátorokat (6-12000 rezgés/perc) használjunk s.í.t.

A könnyűbeton tömörítése során tekintettel kell lennünk arra, hogy a beton előírt készítési térfogatsúlyát betartsuk. Nem lehet elegendő nyomatékkal hangsúlyoznunk, hogy bár általában a könnyűbeton térfogatsúlya a beton nyomószilárdságát nem határozza meg egyértelműen, adott összetételű és készítésű könnyűbetonnal csak abban az esetben lehet az adott betonszilárdságot elérni, ha az előírt betontérfogatsúlyt is biztosítottuk.

A könnyűadalékanyagos beton nyomószilárdságát és térfogatsúlyát a következő tényezők befolyásolják:

- az adalékanyag halmaztérfogatsúlya és önszilárdsága,
- az adalékanyag szemszerkezete,
- a vízadagolás mértéke (konzisztencia),
- a cementtartalom,
- a keverőgép fajtája és a keverés módja,
- a beton bedolgozása és
- a beton utókezelése.

Mielőtt e tényezők hatására vonatkozó vizsgálataink eredményinek a részletesebb ismertetésébe kezdenénk, tisztáznunk kell röviden a nyomószilárdság és a térfogatsúly összefüggésének megállapítására alkalmazott vizsgálati módszereinket. A nyomószilárdság és a térfogatsúly, bár egymással összefüggő, mégis két különböző tulajdonság, amelynek alakulását az előbb felsorolt hét változó (halmaztérfogatsúly, szemszerkezet, vízadagolás, cementtartalom, keverés, bedolgozás és utókezelés) függvényében kívánjuk megállapítani. Úgy kell tehát a vizsgálati módszereket kiválasztanunk, hogy a hét változó közül hat állandó maradjon és csak az egyik gyakoroljon befolyást a beton egyik tulajdonságára. Ha akár a változók számát, akár a vizsgált tulajdonságokét növeljük, az eredmények kiértékelhetetlenek.

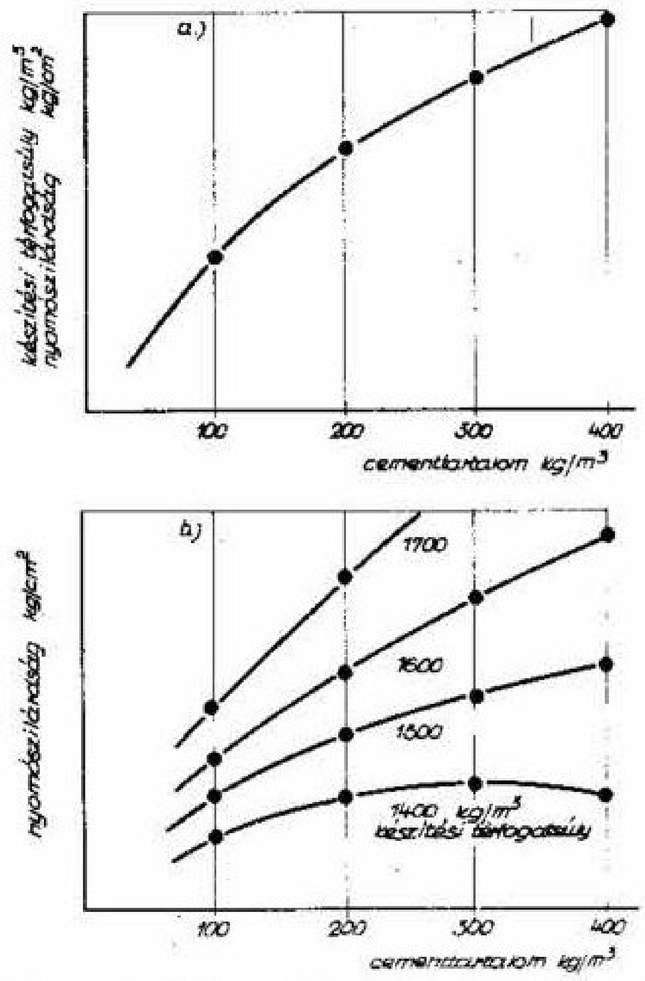
A hét változó közül hatnak konstanssá tétele elvileg könnyű feladat, gyakorlatilag azonban majdnem lehetetlen. Ezért meg kell elégednünk azzal, hogy az egyes változókat akkor tekintjük állandóknak, ha bizonyos határértékek között maradnak; így pl. a cementtartalom akkor konstans, ha az átlagos, vagy az előírt cementtartalomtól legfeljebb $\pm$ 10 %-kal tér el (pl. 200 kg/m^3 előírt átlagos cementadagolás esetén a tényleges cementtartalom 180-220 kg/m^3 között változhat), a vízadagolás akkor, ha a száraz adalékanyagra számított súlyszázaléka az átlagostól legfeljebb $\pm$ 2 %-kal tér el (pl. 30 súly % előírt átlagos vízadagolás esetén a tényleges vízadagolás 29,4-30,6 súly % között változhat) stb.

A két tulajdonság egymástól független vizsgálatára a következő módszert alkalmaztuk. Az egyik változó vizsgálatára mindig párhuzamosan, többszörös mennyiségben készítettük el a megtervezett betonkeverék sorozatot. Az egyik sorozatot azonos ideig tömörítettük (pl. laboratóriumi asztalvibrátoron 40 s-ig vibráltuk), a többi sorozatot viszont azonos térfogatsúlyúra dolgoztuk be. Az eljárás megvilágítására lássuk a következő példát.

A kohóhabsalak beton nyomószilárdságának és cementadagolásának összefüggését kívánjuk kideríteni. Ebből a célból adott, tehát változatlan halmaztérfogatsúlyú és szemszerkezetű kohóhab-

salakból, adott, tehát változatlan keveréssel, vízadagolással, tömörítéssel és utókezeléssel 100, 200, 300 és 400 kg/m^3 cementadagolással, egyenként 3-3 db próbakockát készítünk. A vizsgálat eredményeképpen megkapjuk a 7/a ábra szerinti diagramot. Amint várni lehet, a cementtartalom és nyomószilárdság növekedésével együtt növekszik a térfogatsúly is, hiszen a nagyobb cementtartalom a beton bedolgozhatságát is növeli.

Ezután ugyanezekkel a cementadagolásokkal ugyanezeket a betonkeverékeket még egyszer elkészítjük, de most már a beton készítési térfogatsúlyát állandónak tartjuk, vagyis mind a négyféle cementadagolással készítünk pl. 1400 kg/m^3 készítési térfogat-súlyú, 3-3 db habsalak beton próbakockát, majd 1500, 1600 és 1700 kg/m^3 készítési térfogatsúllyal ugyancsak 3-3 db-ból álló próbakocka sorozatot. A vizsgálat eredményeiből felrajzolhat-juk a 7/b ábra szerinti diagramot.



7. ábra: Példa a könnyűbeton összetételének és tulajdonságainak a vizsgálati módszerére

A 7/a és a 7/b ábra összevetéséből megállapítható, hogy pusztán a 7/a ábra eredményei alapján milyen téves következtetésekre lehet jutni. A 7/a ábrából ugyanis az látható, hogy a cementadagolás növelése a nyomószi-lárdságot és a térfogatsúlyt egyaránt növeli. Ez a megállapítás található jóformán minden e témával foglalkozó külföldi szakirodalomban. Ezzel szemben a 7/b ábra egyértelműen bizonyítja, hogy pl. 100 kg/m^3 cementadagolással és 1500 kg/m^3 készítési térfogatsúllyal ugyanolyan szilárdságot lehet elémi, mint 200 kg/m^3 cementadagolással és 1400 kg/m^3 készítési térfogatsúllyal.

Az ÉTI-ben a 7. ábrán megadott mindkét módszer szerint megvizsgáltuk a könnyű adalékanyagos betonokat s ez a módszer tette lehetővé, hogy a könnyűbetonok tulajdonságaival kapcsolatban uralkodó eddigi általánosan tisztázatlan és sokszor téves nézeteket kritika alá vehessük, illetve a tényleges összefüggéseket megállapíthassuk.

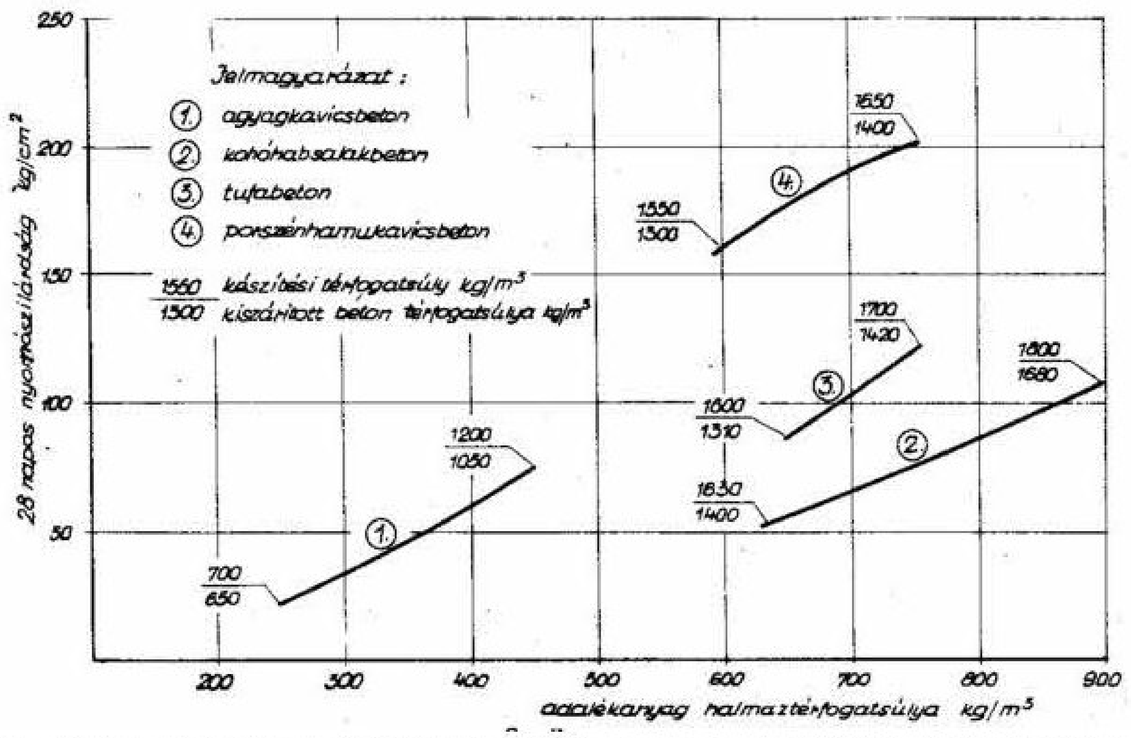
4.1. Az adalékanyag halmaztérfogatsúlya és önszilárdsága

A 3.1. és a 3.2. fejezetben megadtuk a hazai könnyű adalékanyagok halmaztérfogatsúlyát és önszilárdságát s megállapítottuk, hogy mennél nagyobb halmaztérfogatsúlyú az adott adalékanyag, annál nagyobb önszilárdsága. Tekintettel erre az összefüggésre, a következőkben elegendő az egyszerűbben mérhető halmaztérfogatsúlynak a beton nyomószilárdságára és térfogatsúlyára gyakorolt hatásával foglalkoznunk, mert az így megállapított törvényszerűségek az adalékanyag önszilárdsá-gára is érvényesek.

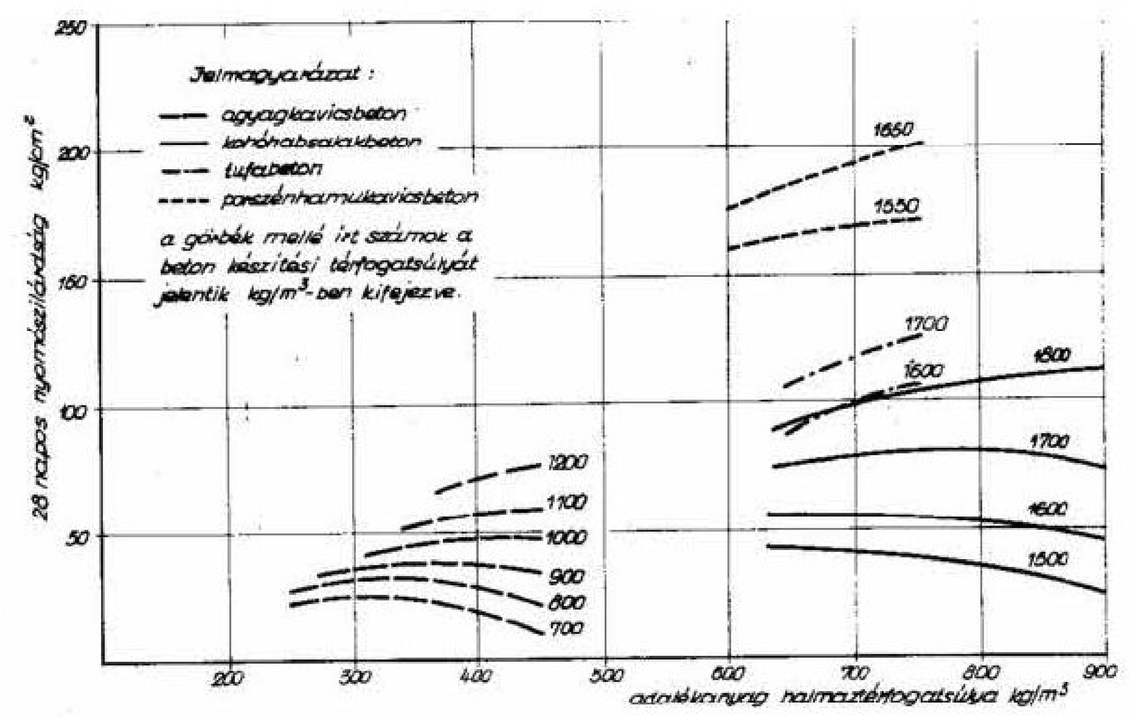
Az eredmények feldolgozása során a 7. ábrán már bemutatott módszert követjük. Először az azonos időtartamú tömörítéssel készített próbakockák vizsgálati eredményeit ismertetjük, majd az azonos térfogatsúlyúra tömörített betonokét. A halmaztérfogatsúly hatását agyagkavics-, kohóhabsalak-, porszénhamukavics- és tufabetonokkal vizsgáltuk. A kísérletekhez 230 kg/m^3 500-as portlandcement adagolású, 30 % tömörítési fokú (lásd a 4.5. fejezetet), 30 súly % finomrészt tartalmazó, jó földnedves konzisztenciájú betonokat készítettünk kényszerkeverőgépben, előzetes vízadagolással. A betont 7 napig 18-20 °C hőmérsékletű térben állandóan nedvesen tartottuk, majd törésig 18 °C hőmérsékletű, 70 % relatív nedvességtartalmú térben tároltuk. A 40 s-ig laboratóriumi asztalvibrátoron tömörített próbakockák nyomószilárdsági eredményeit a 8. ábrán rajzoltuk meg.

A 8. ábrán a nyomószilárdság értékei a halmaztérfogatsúlytól függően leolvashatók, az összefüggést jellemző görbe kezdő és végpontjához odaírtuk a beton készítési és kiszárított állapotban mért térfogatsúlyát is. Az adalékanyag halmaztérfogatsúlyának és a beton térfogatsúlyának összefüggésére nem szükséges külön ábra, mert az ugyanolyan jellegű, mint a nyomószilárdság és a halmaztérfogatsúly összefüggéséé. A közölt adatokból tehát a beton térfogatsúlyának alakulását is meg lehet állapítani. Az ábrából a következő szabály fogalmazható meg:

I. szabály: *ha az adott adalékanyag halmaztérfogatsúlya (önszilárdsága) növekszik, akkor azonos tömörítés mellett növekszik a könnyűbeton nyomószilárdsága és térfogatsúlya.*



8. ábra: A halmaztérfogatsúly és a nyomószilárdság összefüggése azonos tömörítés mellett



9. ábra: A halmaztérfogatsúly és a nyomószilárdság összefüggése azonos térfogatsúly mellett

Az ugyanezen adalékanyagból a 7/b ábra szerinti vizsgálatok során készített betonok összetétele a 8. ábra szerinti betonokkal azonos volt, csupán a tömörítést változtattuk oly módon, hogy a beton készítési térfogatsúlya azonos legyen. A vizsgálatok eredményeit a 9. ábrán dolgoztuk fel. Ebből az állapítható meg, hogy ha különböző halmaztérfogatsúlyú adalékanyaggal, de egyébként azonos összetétellel készítjük el az azonos készítési térfogatsúlyú könnyűbetonokat, akkor a halmaztérfogatsúly növekedésével nem minden esetben növekszik a nyomószilárdság is. Vessük össze a 9. ábra görbéit a 8. ábra görbéivel. Megállapíthatjuk, hogy a 8. ábra görbéinek a kezdő és végpontjai a 9. ábra görbeseregeinek a kezdő- és végpontjain fekszenek, vagyis a 8. ábra egy-egy görbéje csak az adott adalékanyaggal előállítható betonok nagyszámú sorozatából kiragadott néhány értéknek összekötő

vonala. A 8. ábra szerinti összefüggés a 9. ábra eredményeinek megvilágításában tehát nem jellemzi szabatosan és egyértelműen az összefüggések elénk táruló rendszerét.

A 8.ábra eredményeinek az értékelése során tett megállapításunk továbbra is érvényben marad, azonban kevesebbet mond, mint amire a betonösszetétel tervezése során szükségünk van.

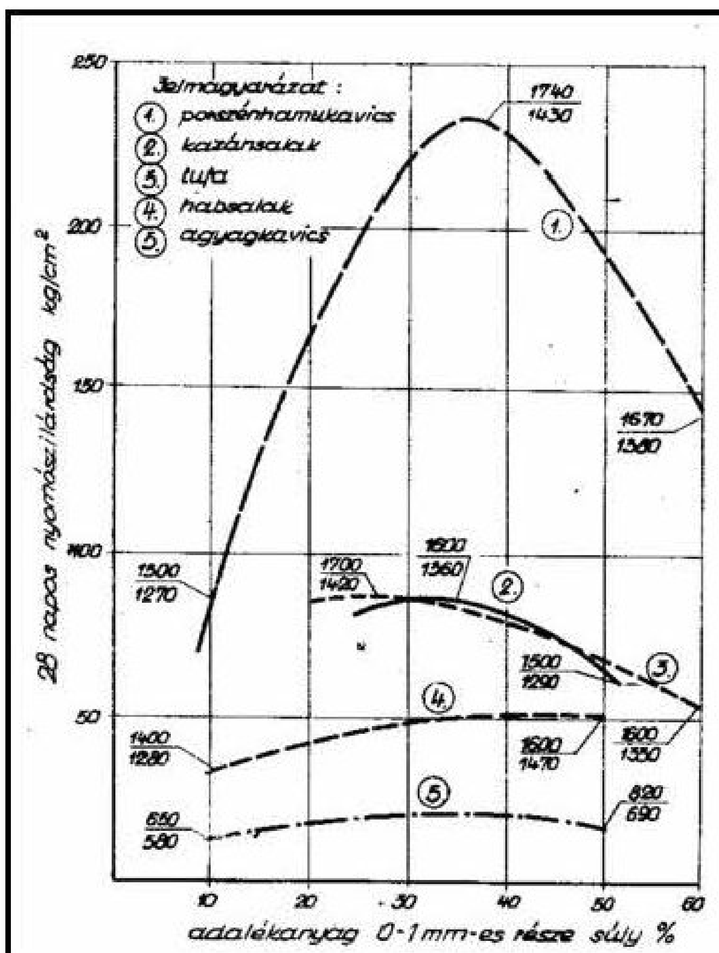
Az I. szabályt ezért a következőképpen kell kiegészíteni:

II. szabály: *A könnyűbeton nyomószilárdságát egyébként azonos betonösszetétel esetén az adalékanyag halmaztérfogatsúlya és a beton térfogatsúlya együttesen határozza meg. A térfogatsúly /nyomószilárdság viszony egyébként azonos betonösszetétel esetén kisebb készítési térfogatsúly mellett akkor kedvezőbb, ha az adalékanyag halmaztérfogatsúlya kisebb, nagyobb készítési térfogatsúly mellett akkor, ha az adalékanyag halmaztérfogatsúlya nagyobb. Mivel az adalékanyag halmaztérfogatsúlya és önszilárdsága egymással egyenes arányban áll, ezért ugyanez a szabály érvényes az adalékanyag önszilárdságára vonatkoztatva is.*

A II. szabály, illetve a 9. ábra kiegészítéseképpen fel kell hívnunk a figyelmet arra, hogy a betont 2000/perc rezgésszámú asztalvibrátorral tömörítettük. Ettől eltérő tömörítő berendezés használata esetén a közölt összefüggések jellege valószínűleg változatlan marad, az összetartozó adatok abszolút értékben azonban el fognak térni a 9. ábra értékeitől.

A II. szabályban megfogalmazott törvényszerűséget azzal lehet magyarázni, hogy mennél nagyobb önszilárdságú adalékanyaggal kívánjuk az adott térfogatsúlyú betont előállítani, annál kevesebb tömörítésre van szükségünk. A tömörítés változása legjobban a vibrálási idő változásával fejezhető ki. Ha a vibrálási idő zérusra csökken, vagyis a betonkeveréket csak lazán öntjük be a formába és így hagyjuk megszilárdulni, akkor még nagyobb önszilárdságú adalékanyaggal is kisebb szilárdságú betont kapunk, mintha kisebb önszilárdságú adalékanyaggal, de kismértékű tömörítéssel dolgozzuk be a betonkeveréket.

4.2. Az adalékanyag szemszerkezete



10. ábra: Könnyű adalékanyagok finomrészei mennyiségének és a beton nyomószilárdságának az összefüggése azonos tömörítés mellett

A könnyű adalékanyagok szemszerkezetének hatását a beton nyomószilárdságára és térfogatsúlyára több éves kísérleteink során részletesen vizsgáltuk. Megállapítottuk, hogy a beton szilárdságát elsősorban az adalékanyag finomrészeinek a mennyisége befolyásolja. Külföldi kutatók hasonló kísérleteik során arra a megállapításra jutottak, hogy a könnyűbetonok szilárdságát kizárólag a cementtartalom, valamint az adalékanyag 0,2 mm alatti szemcséi mennyiségének az összege határozza meg. Bár ez a megállapítás csak bizonyos feltételek mellett és bizonyos határok között fogadható el, bizonyítja az adalékanyag finomrészei mennyiségének döntő jelentőségét. Vizsgálataink szerint a gyakorlat számára kellő pontosságú a 0-1 mm-es finomadalékanyag mennyiségének figyelembe vétele.

A felhasznált finomrész lehet az eredeti anyagból aprított finomhomok, vagy természetes eredetű kvarchomok. Vizsgálataink során elsősorban az anyagból aprított finomrészeket alkalmaztuk, de egyes adalékanyagokból kvarchomok

adagolással is készítettünk betonkeveréket. A vizsgálatokat általában 250 kg/m^3 500-as portlandcement adagolású, jó földnedves konzisztenciájú, kényszerkeverőben előnedvesítve kevert betonnal végeztük, a betont 2800/perc rezgésszámú laboratóriumi asztalvibrátorral 40 mp-ig tömörítettük. A betont a 4.1. fejezetben leírt módon utókezeltük. A szemszerkezet hatását tufa, habsalak, porszénhamukavics, agyagkavics és kazánsalak betonokon vizsgáltuk. A 7/a ábra szerinti vizsgálatok eredményeit a 10. ábrán közöljük.

A 10. ábra szerint a legkedvezőbb szilárdságot biztosító finomrész tartalom adalékanyag fajtánként változó. Azonos tömörítési idő mellett a legkedvezőbb finomrésztartalom az adott betonösszetétellel a következő:

tufa: 25 súly%; habsalak: 50 súly%; agyagkavics: 30 súly%

A betonok térfogatsúlyát az ábrán feltüntettük, a térfogatsúly alakulása az agyagkavicsbeton kivételével a szilárdság alakulásával azonos jellegű. Az agyagkavicsbeton térfogatsúlya növekvő finomrész tartalom esetén növekszik annak ellenére, hogy 30 súly%-nál több finomrésszel a beton szilárdsága csökken. Általános szabályként fogalmazhatjuk meg a következőt:

III. szabály: *a könnyű adalékanyag legkedvezőbb szemszerkezete az adalékanyag fajtájától függ. Általában nagyobb mennyiségű finomrészre van szükség, mint kavicsbeton esetében. A legkedvezőbb 0-1 mm-es finomrész tartalom – az adalékanyag fajtától függően – 20-50 súly %.*

A 8.-10. ábrákban közölt vizsgálati eredmények a kavicsbetonokra érvényes szabályoktól eltérő adatokat szolgáltattak. Köztudomású, hogy mennél szilárdabb a kavicsbeton adalékanyaga, annál szilárdabb a beton. Ismert az is, hogy a legjobb betonszilárdságot viszonylag kevés finomrész tartalmú szemszerkezettel lehet elérni. Ezzel szemben a könnyű adalékanyag önszilárdságára (halmaztérfogatsúlyára) a *II. szabályt*, a finomrész tartalmára a *III. szabályt* találtuk megfelelőnek. Az eltérés okára a következő magyarázatot próbáljuk adni.

Kavicsbetonokat nagyszilárdságú (1500-3000 kg/cm^2) adalékanyagból, vízből, cementből készítünk. Tekintsük a megszilárdult betont kétfázisú rendszernek, amely a finomrészből, cementből és vízből álló habarccsal, mint ragasztóanyaggal, és az adalékanyag durva szemcséiből, mint vázkitöltő anyagból készül. Ebben az esetben a beton szilárdságát a két alkotórész – a habarcs és az adalékanyag váz – szilárdsága, a két alkotórész összedolgozása, egymásra hatása szabja meg. A kavicsbeton e két alkotóeleme közül a habarcs nyomószilárdsága viszonylag kicsi, százas nagyságrendű, az adalékanyagé viszonylag nagy, ezres nagyságrendű. A beton tönkremenetele – a probléma leegyszerűsítése esetén – akkor következik be, ha a kisebb szilárdságú ragasztóanyag, a habarcs, tönkremegy és a durva adalékanyag szemeket nem képes többé összetartani. Az a terhelés, amely mellett a beton tönkremegy, általában kissé nagyobb feszültséget okoz a betonban, mint a habarcs önszilárdsága, mert az adalékanyag szemek érintkezése, a habarcs és az adalékanyag szemek tapadása stb. miatt a feszültség még akkor is nőhet, amikor a habarcs plasztikus állapotba került. Ez a többletterhelés azonban kicsiny, mivel a kétfázisú rendszerben éppen a ragasztóanyag ment tönkre.

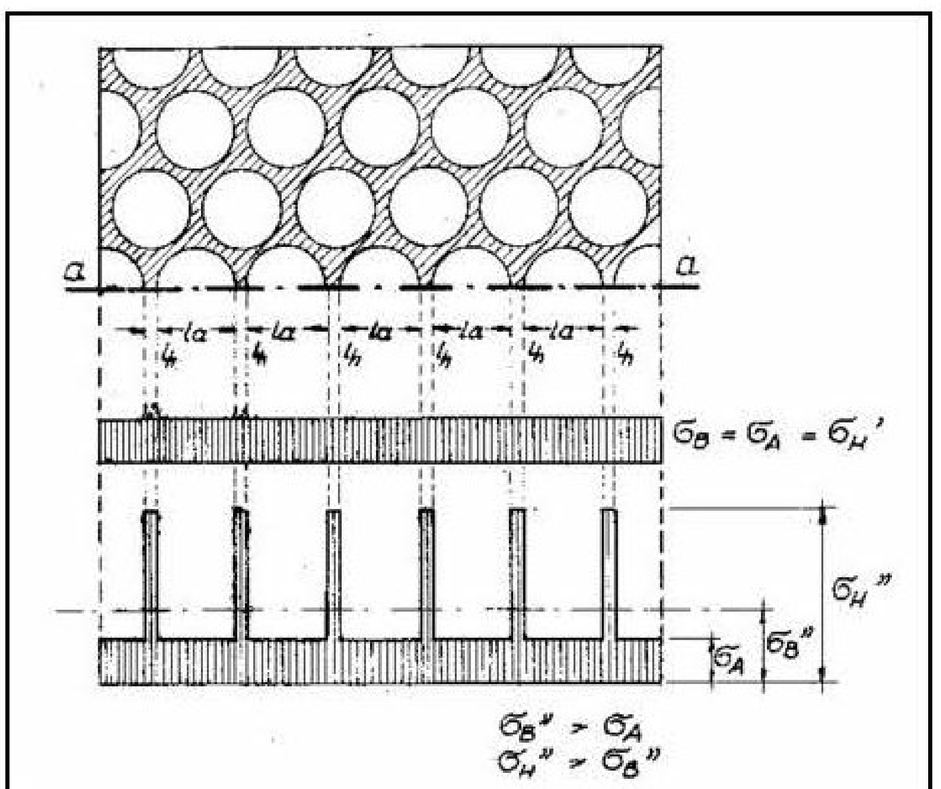
Mennél kevesebb tehát a kavicsbetonban a ragasztóanyag, a habarcs s ez mennél nagyobb szilárdságú, annál nagyobb a beton szilárdsága is. A szokásos betontechnológiai megfogalmazásban: mennél nagyobb az adalékanyag maximális szemnagysága, mennél jobban biztosított az adalékanyag szemeinek az együttdolgozása, vagyis minél kisebb a pórustartalom, mennél kevesebb finom adalékanyaggal (tehát a habarcsot tekintve mennél több cementtel), mennél jobban tömörített ragasztó anyaggal készül a beton, szilárdsága annál nagyobb. S mivel az adalékanyag szilárdsága általában

nagyobb, mint a betonszilárdság, a habarcs szilárdságának és a durva adalékanyag mennyiségének növelésével kell a kavicsbeton szilárdságát növelni.

A *könnyű adalékanyagos betonokat* kisszilárdságú (10-400 kg/cm^2) adalékanyagból, vízből és cementből készítjük. Tekintsük a betont – mint előbb – kétfázisú rendszernek, amely habarcsból (cement, víz, finom adalékanyag) és adalékanyagból (durvaszemű adalékanyag) áll. Itt a habarcs nyomószilárdsága viszonylag nagy, százas nagyságrendű, az adalékanyagé viszonylag kicsi, általában tízes nagyságrendű. A beton tönkremenetele – a probléma leegyszerűsítése esetén – akkor következik be, ha a nagyobb szilárdságú ragasztóanyag tönkremegy. Hogyan oszlik meg a feszültség tönkremenetelkor az adalékanyag és a habarcs között, milyen a beton feszültségállapota?

Amíg a terhelés okozta betonfeszültség kisebb, vagy egyenlő az adalékanyag önszilárdságával, az adalékanyag és a habarcs feszültsége azonos és egyenlő a beton átlagos feszültségével. Abban a pillanatban, amikor a beton átlagos feszültsége meghaladja az adalékanyag önszilárdságát, az adalékanyag plasztikus állapotba kerül, további terhet felvenni nem képes, a kiadódó többletterhelés a habarcsban többletfeszültséget okoz. A terhelés növekedésével a többletfeszültség rohamosan növekszik s elérve a habarcs szilárdságát, a beton tönkremenetele bekövetkezik.

Vegyünk fel egy azonos szemnagyságú adalékanyagból és a szemeket körülvevő egyenletes vastagságú habarcsból álló betont (lásd a 11. ábrát). Jelöljük a habarcs szilárdságát σ_H-val, az adalékanyagét σ_A-val, a beton nyomószilárdságát σ_B-vel s legyen $\sigma_A << \sigma_H$, továbbá jelöljük a habarcs átlagos vastagságát l_h-val, az egyenletes szemnagyságú adalékanyagét l_a-val. Vizsgáljuk meg az *a – a* metszetben a beton feszültségállapotát növekvő terhelés mellett.



11. ábra: Azonos szemnagyságú adalékanyag szemekből és azonos vastagságú habarcsból álló könnyűbeton-metszet feszültségeloszlása

Ha a beton σ_B' feszültsége éppen egyenlő az adalékanyag σ_A szilárdságával, akkor a feszültségeloszlás egyenletes, a habarcsban a feszültség $\sigma_H' = \sigma_B'$, vagyis

$$\sigma_B' = \sigma_H' - \sigma_A$$

Az adalékanyag további terhet felvenni nem képes, plasztikus állapotba kerül, így növekvő terhelés mellett a habarcsra többletfeszültség jut. Vagyis:

ha $\sigma_B'' > \sigma_A$ akkor $\sigma_H'' > \sigma_B''$

A feszültségeloszlást a 11.ábrán szemléltettük. Kérdés most már az, hogy mekkora a habarcs feszültsége. Az ábrából megállapítható, hogy σ_A adalékanyag feszültség és σ_B'' betonfeszültség különbsége szorozva az adalékanyag l_a átmérőjével adja meg a habarcsra jutó többletterhelést. A habarcs vastagsága l_h és $l_h < l_a$, így a többletfeszültség a $\sigma_B'' - \sigma_A$ növekedésével rohamosan növekszik. Az adott esetben még egyensúlyi állapot van, tehát

$$(\sigma_B'' - \sigma_A) \times l_a = (\sigma_H'' - \sigma_B'') \times l_h$$

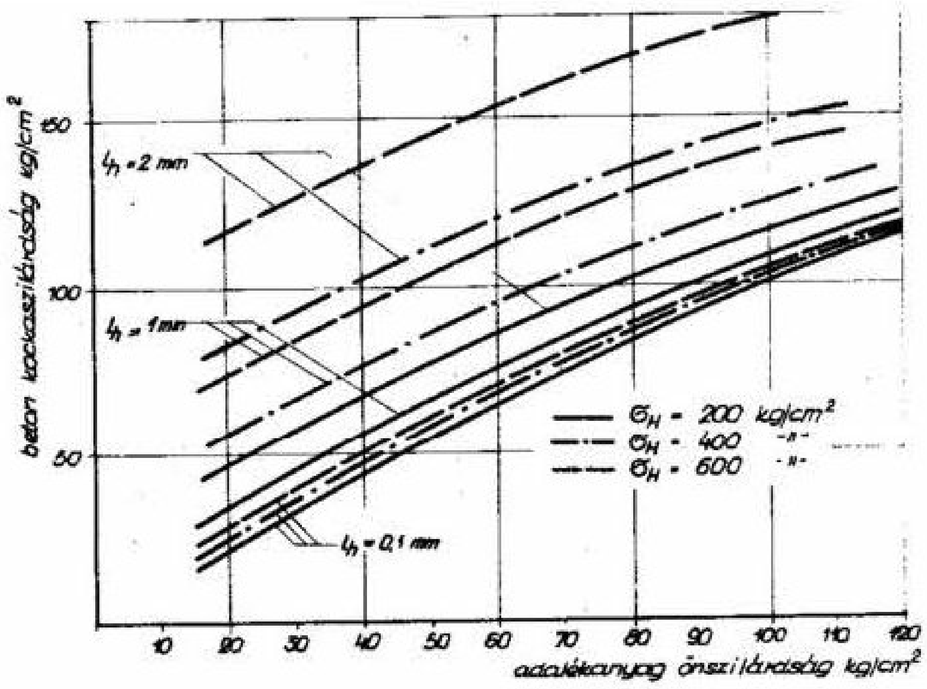
A beton akkor fog tönkremenni, amikor $\sigma_H'' = \sigma_H$, vagyis a habarcs igénybevétele egyenlő lesz a szilárdságával, így a tönkremenetel pillanatában:

$$(\sigma_B - \sigma_A) \times l_a = (\sigma_H - \sigma_B) \times l_h \quad \text{ebből}$$

$$\sigma_B \times l_a + \sigma_B \times l_h = \sigma_H \times l_h + \sigma_A \times l_h \quad \text{rendezve}$$

$$\sigma_B = \frac{\sigma_H \times l_h + \sigma_A \times l_a}{l_a + l_h}$$

Ezzel az összefüggéssel közelítőleg kiszámítható, hogy adott szilárdságú és szemnagyságú könnyű adalékanyaggal, valamint adott szilárdságú és mennyiségű cementhabarccsal milyen szilárdságú könnyűbeton készíthető. Tudatában vagyunk annak, hogy a megadott képlet a probléma leegyszerűsítése miatt csak közelítés, amely legfeljebb nagyságrendileg megfelelő eredményeket ad. A fentiekben vázolt elméleti meggondolás további finomításával (adalékanyag és habarcsváz tapadása, az adalékanyag húzószilárdsága, rugalmassága, golyónyomás-elmélet, alak és méret stb.) azonban a könnyűbeton összetételének és szilárdságának az összefüggése elméletileg is jól magyarázható és megragadható. Ezt a további munkát is el kívánjuk végezni. Véleményünk szerint a megadott összefüggés már is alkalmas arra, hogy alkalmazásával a tendenciákat megállapíthassuk.



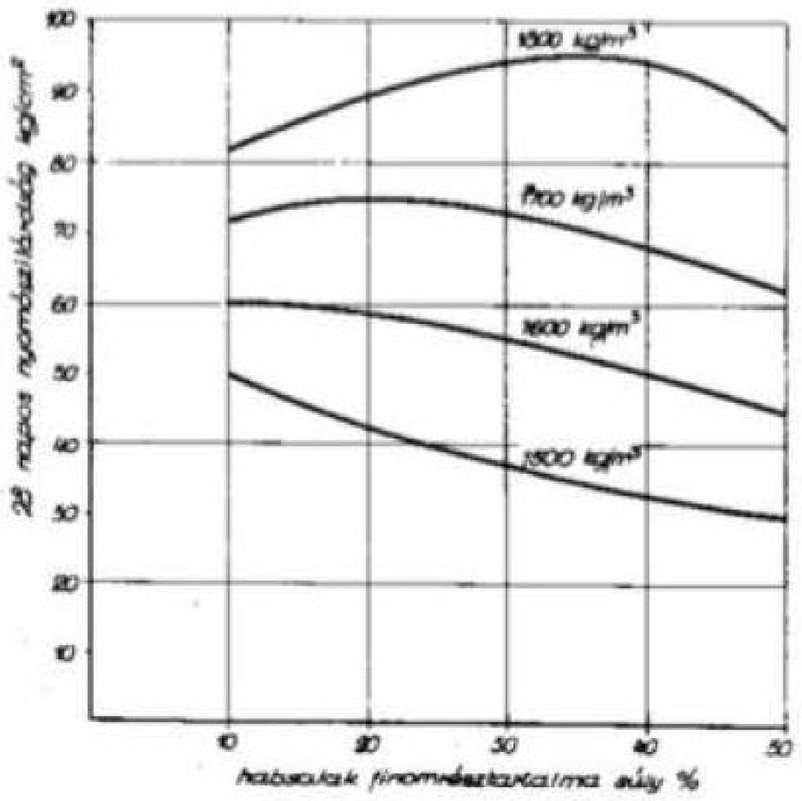
12. ábra: A betonszilárdság, valamint az adalékanyag önszilárdság, habarcs önszilárdság és a habarcsvastagság közelítő összefüggése

Az összefüggés segítségével néhány számítást végeztünk. Felvettünk D_{max} = *10 mm* szemnagyságú, gömb alakú adalékanyaggal készített könnyűbetont, melyben a habarcsvastagság (l_H) változó: 0,1; 1 és 2 mm és változó a habarcsszilárdság (σ_H): 200, 400 és 600 kg/cm^2. Megvizsgáltuk, hogy a fenti változókkal a közölt képlet alapján milyen értékek adódnak. Az eredményeket a 12. ábrán dolgoztuk fel.

Az ábra szerinti eredmények ugyanazokat a tendenciákat mutatják, mint a 8. és 10 ábrák. A beton nyomószilárdsága növekszik, ha növekszik

- az adalékanyag önszilárdsága,
- a habarcs mennyisége, vagyis a habarcs vastagsága, tehát a habarcsot alkotó finomrészek mennyisége,
- a habarcs önszilárdsága.

A habarcsvastagság növelése a beton nyomószilárdságát jobban növeli, mint a habarcs önszilárdságának a növelése, mert pl. 50 kg/cm^2 önszilárdságú adalékanyagból σ_H = *200, 400* és *600 kg/cm^2* habarcsönszilárdság mellett, 0,1 mm habarcsvastagsággal rendre 55, 58 és 60 kg/cm^2 nyomószilárdságú betont lehet készíteni, viszont σ_H = *200 kg/cm^2* önszilárdságú habarccsal, de l_h = *0,1, 1 és 2 mm* habarcsvastagsággal rendre 55, 67 és 78 kg/cm^2 nyomószilárdságú betont. Ez pedig azt jelenti, hogy ha az adalékanyag finomrészeinek a mennyiségét növeljük, változatlan cementadagolás mellett ugyan kisebb lesz a habarcs-önszilárdság, de nagyobb a habarcsvastagság, így a beton szilárdsága valószínűleg növekedni



13. ábra: Összefüggés a habsalak finomrésztar-talma és nyomószilárdsága között azonos ké-szítési térfogatsúly esetén

fog. Ezzel elméletileg is indokolható a 10. ábra szerinti összefüggés, illetve a *III. szabály*.

Az adalékanyag finomrésztartalmának a beton nyomószilárdságára gyakorolt hatását a 7/b ábra szerinti módszerrel csak habsalakbeton esetében vizsgáltuk. A vizsgálati eredményeket a 13. ábrán dolgoztuk fel. A 13. ábra szerinti összefüggések hasonlóak a 9. ábra szerintiekhez, ezért magyarázatuk is hasonló. Az összefüggések alapján a következő szabályt lehet megfogalmazni:

> ***IV. szabály:*** *A könnyűbeton nyomószilárdságát egyébként azonos betonösszetétel esetén az adalékanyag finomrész tartalma és a beton térfogatsúlya együttesen határozza meg. A térfogatsúly / nyomószilárdság viszony egyébként azonos betonösszetétel mellett akkor kedvezőbb, ha az adalékanyag finomrész tartalma kevés, nagyobb készítési térfogatsúly mellett akkor, ha az adalékanyag finomrész tartalma, a 0-1 mm-es részek mennyisége, nagyobb.*

A IV. szabály is magyarázható a 12. ábrán bemutatott összefüggésekkel, ugyanis pl. 1500 kg/m^3 készítési térfogatsúly és 50 % finomrész tartalom esetén a betont olyan kevéssé kell csak tömöríteni, hogy a habarcsszilárdság rendkívül csekély lesz, míg 10 % finomrész tartalom esetén az erőteljesen tömörített betonban a habarcsváz lényegesen nagyobbá válik, s így bár csökken a habarcsvastagság, a beton szilárdsága mégis emelkedik.

4.3. A vízadagolás mértéke

A kavicsbetonok készítése során megszoktuk, hogy a készítési vízmennyiséget a víz/cement tényező értékével, vagyis a felhasznált vízmennyiség és cementmennyiség hányadosával fejezzük ki. A kavicsbeton adalékanyaga, a homokos kavics vagy a kőzúzalék vízfelvétele igen kismértékű, a durvább adalékanyag szemeké gyakorlatilag zérus s a finomabb szemek is csak a felületükön adszorbeálnak nedvességet. Ennek következtében a víz/cement tényezővalóban az 1 kg cementre jutó vízmennyiséget fejezi ki literben.

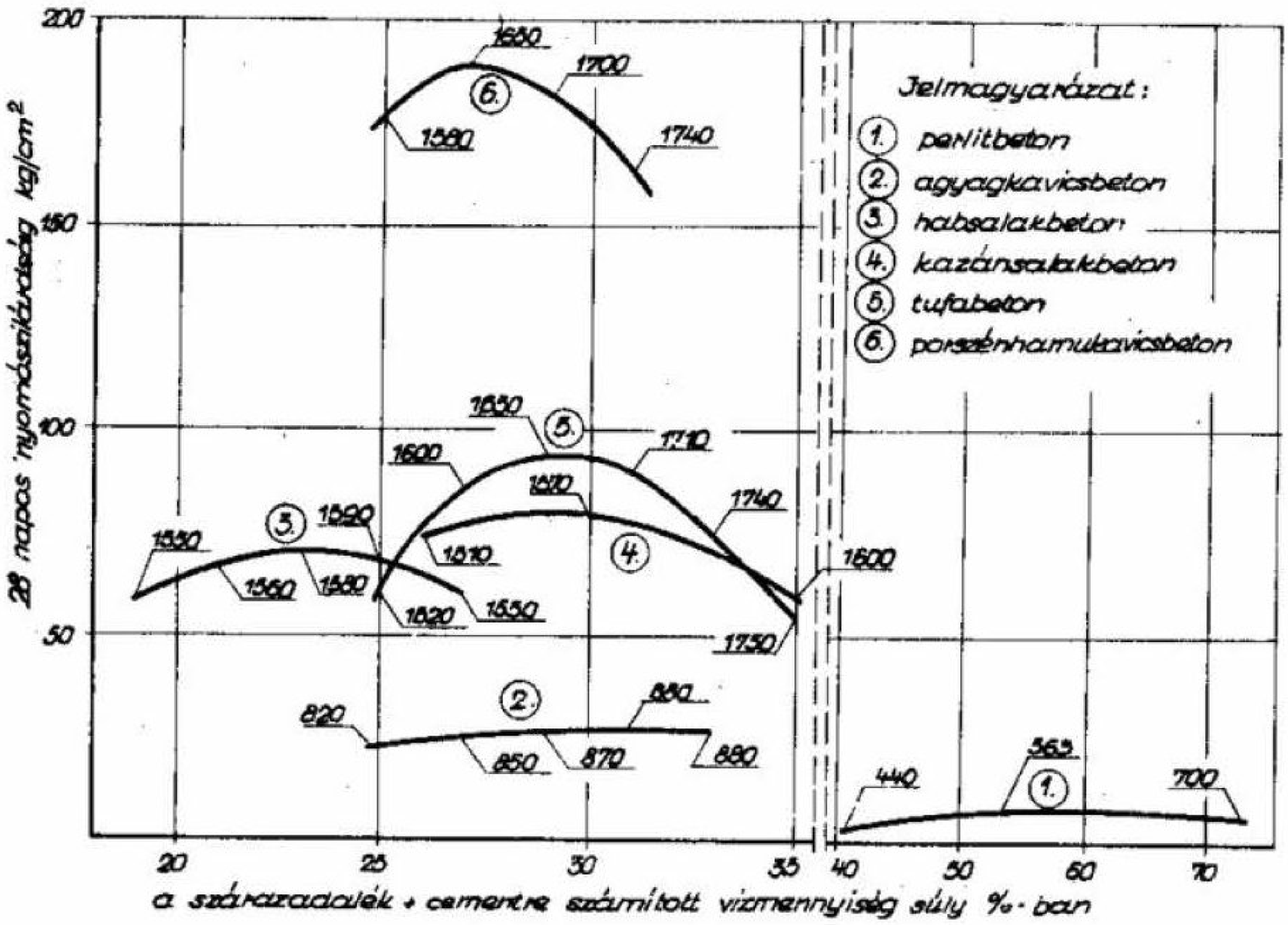
Ezzel szemben a könnyű adalékanyagos beton készítése során, amint az a 4. táblázatból látható, még a durvább adalékanyag szemcsék (pl. 7-15 mm) is nagymennyiségű vizet vesznek fel. A friss, bedolgozott betonban így a vízmennyiség tetemes része az adalékanyagba kerül s a cementre a teljes készítési víznek csak kis hányada jut. A víz/cement tényező értéke emiatt a cementre jutó víz tényleges mennyiségére nem jellemző s ezért a beton szilárdságának alakulását nem lehet összefüggésbe hozni vele. Ehhez még hozzá kell fűzzük, hogy 1 m^3 könnyűbetonban is lényegesen több az adalékanyag mennyisége súlyban kifejezve, mint a cement mennyisége, mint a cement mennyisége ugyancsak súlyban kifejezve, tehát a felhasznált vízből is aránytalanul többet szív fel az adalékanyag, mint a cement.

Ezek miatt az okok miatt a vízmennyiség jellemzésére nem a víz/cement tényezőt használjuk, hanem vagy a száraz adalékanyag súlyára számított vízmennyiséget, vagy a száraz adalékanyag + cement súlyára számított vízmennyiséget. Mind a két érték alkalmazása indokolt és a szükséges vízadagolásra nézve jellemző. Vizsgálataink során a száraz adalékanyag + cement súlyszázalékában fejeztük ki a készítési vízmennyiséget.

A vízadagolásnak a cement szilárdulását biztosító szerepén kívül a beton bedolgozhatóságának alakításában is van szerepe. A beton bedolgozhatóságát általában a tömörítéshez szükséges erőkifejtéssel, munkaráfordítással jellemezzük. A beton bedolgozhatósága függ a kitöltendő forma alakjától, méreteitől, az esetleges vasbetétek elosztásától, a beton konzisztenciájától, szétosztályozódási hajlamától (kohéziójától) és víztartó képességétől. Könnyűbetonok esetében éppúgy, mint a kavicsbetonok esetében a konzisztencia, a kohézió és a víztartó képesség a használt adalékanyag

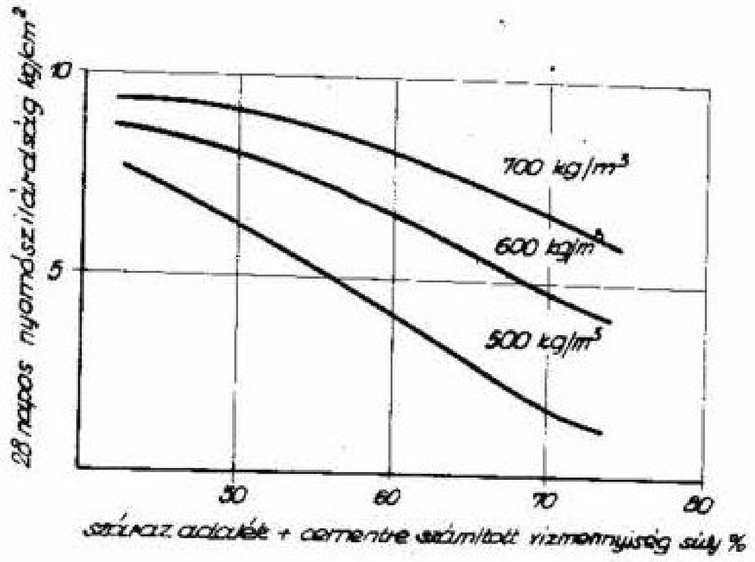
szemszerkezetén és cementtartalmán kívül az alkalmazott vízmennyiségtől függ. Éppen ezért a szükséges vízmennyiség nagyságát a kötési folyamat figyelembe vételén kívül a szükséges konzisztencia figyelembe vételével kell meghatározni.

A vízadagolásra vonatkozó 7!a ábra szerinti vizsgálataink során általában 200 kg/m^3 cementtartalmú, 30 súly % finomrészt tartalmazó adalékanyaggal, kényszerkeverőgépben előnedvesítés után keverve, laboratóriumi rázóasztalon 40 mp-es vibrálással készítettük el a könnyűbeton próbatesteket. Agyagkavics-, pernyekavics-, tufa-, habsalak-, kazánsalak- és perlitbetonok vízadagolásának és nyomószilárdságának az összefüggését vizsgáltuk, az eredményeket a 14. ábrán dolgoztuk fel.



14. ábra: Könnyűbetonok vízadagolásának és nyomószilárdságának összefüggése

A 14. ábra szerint a kisebb szilárdságú beton nyomószilárdsága azonos tömörítés esetén nem változik a vízadagolás viszonylag nagymérvű változása esetén sem. A perlitbeton nyomószilárdsága 41-73 súly % vízadagolás mellett – bár a készítési térfogatsúlya nő – gyakorlatilag azonos nyomószilárdságú marad, míg az agyagkavicsbeton nyomószilárdsága 25-33 súly% vízadagolás-változás mellett marad gyakorlatilag változatlan. A habsalakbeton nyomószilárdsága már kismértékben változik, ugyanígy a kazánsalakbetoné is, míg a tufabeton és a porszénhamukavicsbeton esetében a vízadagolásnak határozott optimuma van.



15. ábra: A perlitbeton nyomószilárdságának és vízadagolásának összefüggése

A konzisztencia változásának a mérésére nincs kialakult és szabatos vizsgálati módszer, elsősorban szemléletre vagyunk utalva. E szerint a legkedvezőbb szilárdságot jó földnedves-enyhén plasztikus konzisztenciájú betonokkal lehet elérni. A vízadagolásnak a 7/b ábra szerinti vizsgálatát

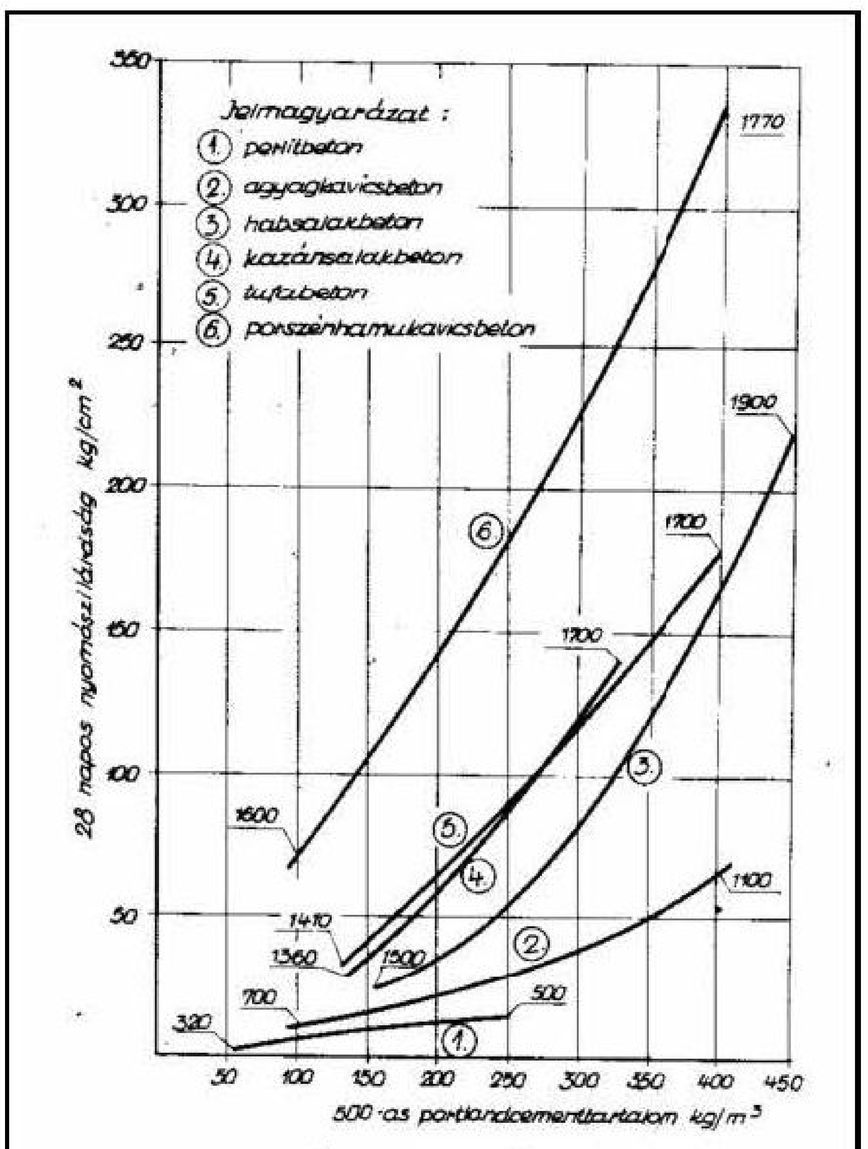
csak perlitbetonra végeztük el. A vizsgálatok eredményeit a 15. ábrában közöljük. Az ábra alapján megállapítható, hogy azonos készítési térfogatsúly mellett általában kisebb vízadagolással érhetünk el nagyobb betonszilárdságot. Ebben az esetben is a tömörítés különbsége indokolja a szilárdság növekvő értékeit: szárazabb betont lényegesen erőteljesebben kell tömöríteni, mint nedvesebb betont, hogy ugyanazt a térfogatsúlyt érjük el. A vízadagolásnak tehát elsősorban bedolgozást könnyítő szerepe van.

A vizsgálati eredmények alapján a következő szabályt lehet megfogalmazni:

V. szabály: *A könnyűbeton vízszükségletét a víz/cement tényező értéke nem jellemzi: célszerű az adagolandó vízmennyiséget a száraz adalékanyag súlyszázalékában kifejezni. Kisebb szilárdságú könnyűbetonok nyomószilárdságát azonos tömörítési mód mellett a vízadagolás változása nem befolyásolja lényegesen, nagyobb szilárdságú könnyűbetonok esetében azonban adott tömörítési mód mellett a vízadagolásnak határozottan kimutatható optimuma van. Adott készítési térfogatsúly esetén a földnedves konzisztenciájú beton szilárdsága a legnagyobb, adott tömörítési mód esetén a tömörítési módnak megfelelő, rendszerint enyhén plasztikus konzisztencia ad legnagyobb nyomószilárdságot. Fentiek miatt a vízadagolás nagyságát elsősorban a tömörítés módja szabja meg.*

4.4. A cementtartalom

A cementtartalom hatását a könnyűadalékanyagos beton nyomószilárdságára és térfogatsúlyára tufa-, habsalak-, kazánsalak-, porszénhamukavics-, agyagkavics és perlitbetonokon vizsgáltuk. A 7/a ábra szerinti vizsgálatokat 30 % finomrész tartalmú adalékanyaggal, enyhén plasztikus konzisztenciájú betonkeverékekkel végeztük, amelyeket előnedvesítve kényszerkeverőgépben kevertük és laboratóriumi asztalvibrátoron tömörítettük. A vizsgálatok eredményeit a 16. ábrában közöljük.



16. ábra: A könnyűadalékanyagos betonok cementtartalmának és nyomószilárdságának összefüggése

A 16. ábrában az egyes adalékanyag fajták görbéinek kezdő- és végpontján a beton készítési térfogatsúlyát is feltüntettük. A térfogatsúly alakulása a szilárdságra vonatkozó görbe irányának megfelelő. Az eredmények szerint a cementadagolás növelése esetén adott tömörítés mellett mind a nyomószilárdság, mind a betontérfogatsúly jelentősen megnő.

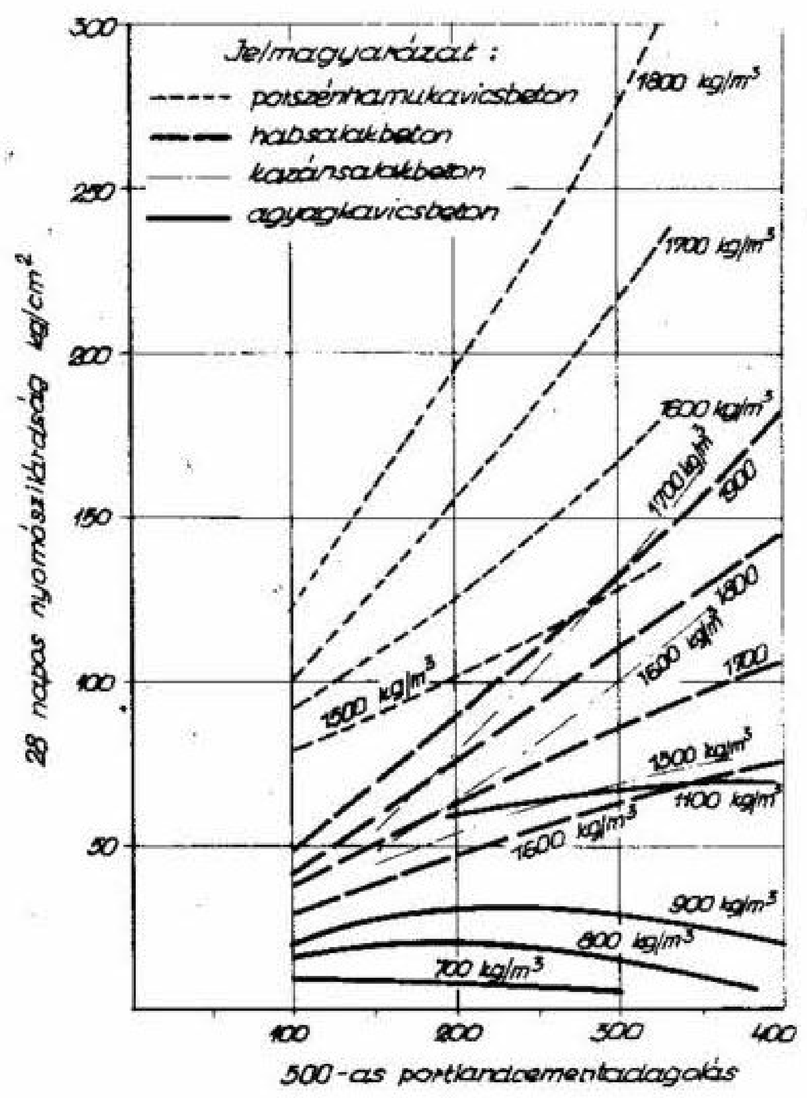
A cementadagolásnak és a beton nyomószilárdságának 7/b ábra szerinti összefüggésére végzett vizsgálataink eredményeit a 17. ábrában rajzoltuk meg.

A 17. ábrán porszénhamukavics-, habsalak-, kazánsalak- és agyagkavicsbetonok nyomószilárdságát vizsgáltuk azonos készítési térfogatsúly és különböző cementadagolás mellett. A vizsgálati ered-mények szerint a cementtartalom-nyomószilárdság összefüggésének a görbéje annál meredekebb, minél nagyobb a készítési térfogatsúly. Ugyanakkor az is megállapítható, hogy kisebb készítési térfogatsúly esetén növekvő cementadagoláshoz csökkenő betonszilárdság is tartozhat (lásd az agyagkavicsbetont). Végül az is megállapítható, hogy adott adalékanyagból adott nyomószilárdságú betont akkor lehet a legkisebb térfogatsúllyal elkészíteni, ha a

cementadagolást a legnagyobbra növeljük. Például porszénhamukavicsból 150 kg/cm^2 nyomószilárdságú betont 140 kg/m^3 500-as portlandcementtel 1800 kg/m^3 készítési térfogatsúly mellett, míg 370 kg/m^3 500-as portlandcementtel 1500 kg/m^3 készítési térfogatsúly mellett lehet előállítani.

A 16. és a 17. ábrákon található vizsgálati adatok alapján megfogalmazható a következő szabály:

VI. szabály: *Azonos tömörítési móddal bedolgozott könnyűbeton keverékek közül nagyobb cementadagolással nagyobb szilárdságú és nagyobb térfogatsúlyú betont készíthetünk. Adott nyomószilárdságú könnyűbeton térfogatsúlya csökkenthető a cementadagolás növelésével. Ez alól a szabály alól kivételt képeznek a kis halmaztérfogatsúlyú adalékanyaggal készített könnyűbetonok, amelyeket 300-800 kg/m^3 készítési térfogatsúly között csak egyetlen cementadagolással lehet a legkedvezőbb nyomószilárdságúra készíteni. Kisebb készítési térfogatsúlyú (300-500 kg/m^3) betont kisebb cementadagolással (kb. 200 kg/m^3), nagyobb készítési térfogatsúlyú (500-700 kg/m^3) betont nagyobb cementadagolással (kb. 300 kg/m^3) készítve kapjuk a legnagyobb cementadagolást.*



17.ábra: Összefüggés a betonszilárdság és a cementtartalom között azonos készítési térfogatsúly esetén

A VI. szabály is a tömörítés eltérő voltával magyarázható.

4.5. A keverés módja

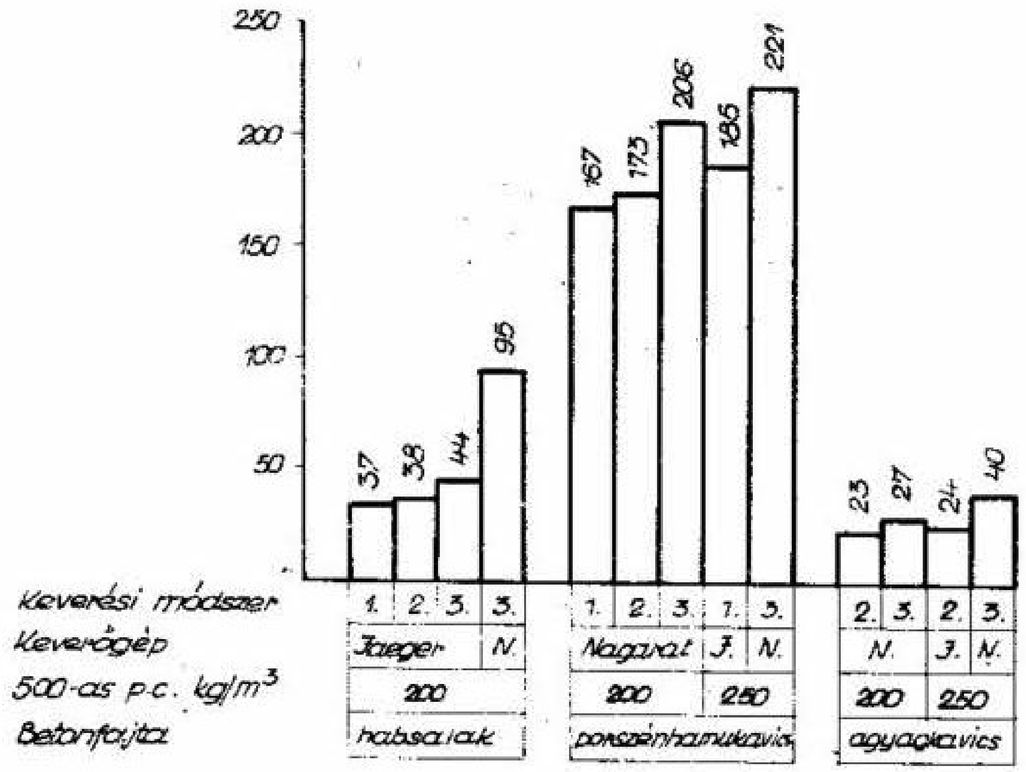
Hazai építőiparunk a betonokat általában szabadesésű keverőgéppel keveri, az irodalom azonban könnyűbetonhoz kényszerkeverőgépet ajánl. Megvizsgáltuk tehát azonos összetételű, azonosan bedolgozott betonok nyomószilárdságának és térfogatsúlyának változását a keverőgép fajtájától függően. Kísérleteink alkalmával azonban kitűnt, hogy a betonösszetevők adagolásának is van hatása könnyűbeton tulajdonságaira, így a vizsgálatokat az adagolási sorrend megállapítására is kiterjesztettük.

A kísérletekhez szabadesésű Jäger keverőgépet és Nagarat kényszerkeverőgépet alkalmaztunk. A betonok adagolási sorrendje a következő volt:

1. módszer: A tárolási állapotú adalékanyagot és a cementet ½ percig kevertük a betonkeverő gépben, majd a szükséges mennyiségű vizet hozzáöntöttük, majd a keverést további 3 percen át folytattuk.

2. módszer: A készítési víz kb. 80 %-ával cementtejet készítettünk, a maradék 20 % készítési vizet a száraz adalékanyaghoz öntöttük. Az előnedvesített adalékanyagot kb. ½ percig kevertük, majd a cementpépet hozzáöntve a keverést további 3 percen át folytattuk.

3. módszer: A készítési víz egész mennyiségét az adalékanyaghoz öntöttük s az így előnedvesített adalékanyagot – az adalékanyag fajtájától függően – ½-2 percig kevertük. Ezután a cementet hozzáöntve a keverést további 3 percen át folytattuk.



18. ábra: Különböző keverési módszerrel és keverőgéppel kevert könnyűbetonok szilárdsága

A fenti 1.-3. módszereken kívül változtattuk még a szabadesésű keverőgépben egyszerre megkevert anyag mennyiségét is. Habsalak-, porszénhamukavics- és agyagkavicsbetonokat vizsgáltunk, általában 200 kg/m^3, egyes esetekben 250 kg/m^3 cementadagolással. A vizsgálati eredményeket a 18. ábrán dolgoztuk fel.

A 18. ábra alapján megállapítható, hogy a legkedvezőbb szilárdsági eredményeket a 3. módszer szerinti adagolási sorrenddel és kényszerkeverőgéppel lehet elérni. Meg kell még említenünk, hogy vizsgálataink tapasztalatai szerint szabadesésű keverőgépben ez a módszer, tehát az adalékanyag előnedvesítése, nem alkalmazható, mert ebben az esetben a cement keverés közben csomósodik, granulálódik s így a beton egyenletes minőségét nem lehet elérni. Szabadesésű keverőgépben emiatt a 2. keverési módszert (esetleg az 1. módszert) kell alkalmazni.

Különböző mennyiségű beton keverése és vizsgálata során azt tapasztaltuk, hogy kényszerkeverőgépben a keverőgép névleges űrtartalmának megfelelő mennyiségű betont keverve gyakorlatilag ugyanazt a szilárdságot érjük el, mintha kevesebb betont keverünk. Ezzel szemben szabadesésű keverőgépben 30-50 %-os dobkihasználás mellett lényegesen nagyobb szilárdságú betont kapunk, mintha egyszerre a dobűrtartalom 60-80 %-ának megfelelő mennyiséget keverünk. A szilárdság különbsége 100 %-nál is nagyobb lehet. A 18. ábra adatai kb. 40 %-os dobkihasználásra vonatkoznak.

A 18. ábra vizsgálati eredményeihez még hozzá kell fűzni, hogy a beton térfogatsúlya különböző keverési módszerek mellett csak akkor lett azonos, ha megváltoztattuk a vízadagolást. Azonos konzisztencia biztosításához az 1. és a 2. módszer szerinti keveréskor kevesebb vízre, a 3. módszer szerinti keveréskor több vízre volt szükség. Ennek magyarázata abban található, hogy a tiszta vizet az adalékanyagok gyorsabban és könnyebben felszívják, mint a cementtel már megkevert vizet. Utóbbi esetben ugyanis a vízben lévő cementszemcsék vízfelvétel közben valószínűleg kismértékben eltömik az adalékanyag kapillárisainak egy részét. Összehasonlítható adatokat csak akkor kaphatunk, ha az azonos összetételű (szemszerkezet, adalékanyag halmaztérfogatsúly, cementtartalom) betonok konzisztenciája, bedolgozhatósága is azonos, ezért változtattuk tehát az adagolt víz mennyiségét.

A közölt adatokhoz még hozzáfűzhetjük, hogy előnedvesítés alkalmazásával a szabadban tárolt és esetleg porosodott szemcsék felülete is bizonyos mértékig megtisztul a portól. Az adalékanyag vízfelszívási sebessége is befolyásolhatja az előnedvesítés szükségességét. Amint a 18. ábrán megállapítható, a lassúbb vízfelszívású agyagkavicsbeton nyomószilárdsága kisebb mértékben növekszik az előnedvesítés következtében, mint a gyorsabb vízfelszívású pernyekavicsbetoné.

A vizsgálatok eredményeiből megfogalmazhatjuk a VII. szabályt:

VII. szabály: *Könnyűbetont kényszerkeverőgépben kell keverni, az adalékanyag előzetes nedvesítésével. Ha nem áll rendelkezésre kényszerkeverőgép, akkor szabadesésű keverőgépben először az adalékanyagot és a cementet kell megkeverni, ezután kell a vizet adagolni. Szabadesésű keverőgépben egyszerre legfeljebb a dobűrtartalom 50 %-ának megfelelő mennyiségű anyag keverhető, vízszintes forgástengely mellett. A szabadesésű*

keverőgépben legkedvezőbb módszerrel kevert könnyűbeton szilárdsága 10-25 %-kal kisebb, mint a kényszerkeverőgépben legkedvezőbb módszerrel kevert könnyűbetoné.

4.6. A beton tömörítése

A könnyűbeton tömörsége – mint ahogy ezt az eddigiekben láttuk – a nyomószilárdság szempontjából legalább olyan jelentőségű, mint a szokványos betonok esetében. Amíg azonban az utóbbi esetben a tömörítés megváltozása elsősorban a nyomószilárdságot befolyásolja és a térfogatsúlyt csak kismértékben változtatja meg, addig előbbi esetben mind a nyomószilárdság, mind a térfogatsúly a tömörítés határozottan kimutatható függvénye.

A tömörítő munka eredményessége közvetlenül mérhető a beton tömörödésének a segítségével. Kavicsbetonok tömörítését ellenőrizhetjük a bedöngölési tényezővel, amely a laza homokoskavics és a betömörített beton térfogatának a viszonya, vagy útbetonok esetében használjuk a bedolgozási tényezőt is, amely külön a homok és külön a kavics térfogatának, valamint a kész beton térfogatának a viszonya.

Ezek a módszerek azonban nem alkalmasak a könnyűbeton tömörítettségének az elbírálására, mert egyrészt különböző litersúlyú adalékanyag esetében azonos tömörítés mellett is a bedöngölési, vagy a bedolgozási tényező más és más, másrészt pedig a könnyű adalékanyagok nedvességtartalma 0-40 % között is változhat s a nagy nedvességtartalom következtében a különböző könnyű adalékanyagok térfogata nagymértékben fellazulhat (20-50 %). Ezenkívül a cementtartalom a könnyűbeton tömörségére, bedolgozhatóságára nagyobb hatással van, mint a kavicsbetonokéra.

A könnyűbetonok tömörítettségének a meghatározására vizsgálataink során mértük a betonkeverék (adalékanyag+víz+cement) laza halmaztérfogatsúlyát (L_b) 10 literes szabványos mérőedényben, a 3.1. fejezetben leírt módon, majd megállapítottuk a betömörített friss beton T készítési térfogatsúlyát. A két érték viszonyát tömörítési foknak (T_f) neveztük:

$$T_f = \frac{T - L_b}{L_b}$$

A tömörítési fok megállapítása során arra kell ügyelni, hogy a betonkeverék laza halmaztérfogatsúlyát mindig ugyanazon körülmények között vizsgáljuk: a betont lazán engedjük a mérőedénybe, lehúzása közben ügyeljünk arra, nehogy a beton felületét tömörítsük stb. Megfelelően gondos mérés mellett a beton laza halmaztérfogatsúlyának a szórása azonos betonkeverékek esetén igen kicsi.

A beton laza halmaztérfogatsúlyának a vizsgálata már önmagában is használható eredményre vezet. Ismert halmaztérfogatsúlyú, változatlan szemszerkezetű, adott cementadagolású beton halmaztérfogatsúlya azonos konzisztencia, azaz azonos víztartalom esetén változatlan. Ha a vízadagolás növekszik, nő a beton halmaztérfogatsúlya, ha a vízadagolás csökken, csökken a halmaztérfogatsúly is. A beton halmaztérfogatsúlyának rendszeres ellenőrzése tehát a tömörítési fok megállapításán kívül, kellő begyakorlás és az így nyert tapasztalatok után, alkalmas lehet a beton konzisztenciájának állandó figyelemmel kísérésére, vagyis a keveréshez szükséges vízmennyiség meghatározására akkor, ha az egyéb vizsgálati adatok is rendelkezésre állnak (pl. adalékanyag halmaztérfogatsúly, keverési arány stb.).

A tömörítési fok és a beton nyomószilárdsága, illetve térfogatsúlya közötti összefüggésre vonatkozó vizsgálati adatokat nem szükséges ismertetnünk, hiszen ennek jelentősége és a beton tulajdonságaira gyakorolt hatása az eddigiekből már amúgy is nyilvánvaló. Meg kívánjuk azonban jegyezni a tömörítés gyakorlati végrehajtása szempontjából a következőket.

A könnyűbetonok tömörítésére hazánkban általában csak azok a vibrátorok állnak rendelkezésre, amelyeket a kavicsbetonok tömörítésére is használunk. Ezek a vibrátorok legtöbbnyire 2800/perc rezgésszámmal és 0,8 mm amplitúdóval működnek, ez a frekvencia azonban könnyű adalékanyagos betonok tömörítésére nem kedvező. Külföldi adatok szerint 6000-15000/perc rezgésszámú vibrátorokat volna célszerű alkalmazni, ilyen vibrátorokat azonban a hazai ipar még nem gyárt, szükség esetén azonban gyártani tudna. Fel kellene tehát mérni a várható igényeket és ennek megfelelően a gyártást elkezdeni.

A könnyűbeton tömörségének egyenletességét merülő vibrátorokkal általában nem lehet elérni. A habsalakbeton például annyira merev lehet, hogy a merülő vibrátor körül a beton gyorsan tömörödik, azonban a vibrátor kiemelése közben üreget hagy maga mögött. A porszénhamukavics jól bedolgozható, azonban a merülővibrátor helyenként túlságosan összetömöríti, más helyen lazán hagyja a betonkeveréket. Nem szabad ugyanis elfelejteni, hogy nem maximális tömörségű, hanem előírt térfogatsúlyú könnyűbetont kell előállítanunk, így vibrálás, tömörítés közben állandóan ügyelni kell a térfogatsúly alakulására. Éppen ezért könnyűbetont vagy lapvibrátorral, de főleg zsalu-, vagy asztalvibrátorral, illetve vibropréseléssel kell tömöríteni. Lapvibrátor alkalmazása esetén ugyancsak óvakodni kell a túltömörítés veszélyétől, ezért csak szükség esetén alkalmazzuk. Legkedvezőbb tehát a zsaluvibrátor, az asztalvibrátor és a vibroprés.

A vibrálás elméletileg akkor kedvező, ha a vibrátor tömegereje a vibrálandó beton + zsaluzat súlyának a háromszorosa. A vibrátorok számát, a tömegerő nagyságát, tehát az összes súly háromszorosára (esetleg min. kétszeresére) kell felvenni.

Kisebb tömegerejű, illetve kevesebb rezgésszámmal működő vibrátorok alkalmazásakor a beton nyomószilárdság:térfogatsúly viszonya adott betonösszetétel mellett kedvezőtlen értékű. Ezt a tömörítési fok alapján is magyarázhatjuk. Vegyünk fel ugyanis egy adott összetételű, tehát adott halmaztérfogatsúlyú betonkeveréket, amelyet adott – viszonylag kedvezőtlen vibrálással – bizonyos térfogatsúlyúra tudunk betömöríteni. A tömörítést jellemezzük a tömörítési fokkal. Ha a vibrálás módszerét megjavítjuk (pl. a rezgésszámot, vagy a vibroerőt növeljük), akkor ugyanazt a készítési térfogatsúlyt kevésbé bedolgozható keverékkel is elérhetjük. A kevésbé bedolgozható keveréket pl. úgy állítjuk elő, hogy a vízadagolást csökkentjük. A vízadagolás csökkentése azonban a betonkeverék laza halmaztérfogatsúlyát is csökkenti, viszont kisebb halmaztérfogatsúly és azonos készítési térfogatsúly esetén a tömörítési fok nő. Ezt az eredményt kaptuk pl. a 15. ábra szerinti beton vízadagolásának a vizsgálata során, illetve a 15. ábra szerinti eredmény a tömörítési fok változásával magyarázható.

A 4.1.-4.5. fejezeteken végigvonult a tömörítés rendkívüli fontossága. Eddig arról volt szó, hogy adott betonösszetétel (adalékanyag halmaztérfogatsúlya, szemszerkezete, cementadagolás, vízadagolás, keverési módszer) esetén meg kell keresni a legkedvezőbb tömörítési módszert és a betont ezzel a tömörítési módszerrel kell bedolgozni. Gyakorlati szempontból a kérdést most már meg kell fordítani: adott tömörítési lehetőségekkel rendelkezünk (vibrátortípus, rezgésszám, amplitúdó, tömegerő stb.) és ehhez kell kiválasztanunk a megfelelő betonösszetételt, vagyis az adott betonösszetételhez tartozó ama vízadagolást, amellyel az adott tömörítési feltételek között az előírt betontérfogatsúlyt el tudjuk érni. Ez a könnyűbeton összetétele tervezésének az alapja.

Az elmondottakból megfogalmazható a VIII. szabály:

> ***VIII. szabály:*** *Adott nyomószilárdságú és térfogatsúlyú könnyűbeton készítésének alapvető feltétele a betonösszetétel (elsősorban a készítési vízmennyiség) és a tömörítési módszer összehangolása. Adott betonösszetétel mellett a beton nyomószilárdsága nő, ha a tömörítési fok növekszik, ez azonban nem vonja maga után a térfogatsúly feltétlen növekedését is. Kedvező tömörítési feltételek mellett ugyanis kisebb vízadagolású könnyűbeton is megfelelő készítési térfogatsúlyúra dolgozható be, a kisebb vízadagolás pedig a tömörítési fok növekedését vonja maga után. A könnyűbetont célszerű nagyfrekvenciájú asztal-, illetve zsaluvibrátorral, vagy vibropréssel tömöríteni. A vibrátor tömegereje a zsaluzat + beton tömegének két-háromszorosa legyen.*

4.7. Az utókezelés

Laboratóriumi vizsgálataink során különböző tárolási módokat alkalmaztunk. Az eredményekből megállapíthattuk, hogy a könnyű adalékanyagos beton kb. 80 % relatív nedvességtartalmú, 20-25 °C hőmérsékletű szobalevegőn igen hamar kiszárad a beton készítéskori nagy nedvességtartalma ellenére is. Mennél több a pórus a betonban, annál gyorsabb a kiszáradás és következményei annál veszélyesebbek. Ha a beton 2-3 napos korában került szobalevegőre, akkor a próbatestek élei még 28 napos korban is morzsolódtak, könnyen csorbultak és a beton nyomószilárdsága is alacsony maradt. Még kb. 85 % relatív nedvességtartalmú térben is tapasztaltunk ilyen jelenségeket, különösen a kisebb térfogatsúlyú betonok esetében.

Mennél hosszabb ideig nedvesítettük kísérleteink során a könnyűbetonokat, annál kedvezőbb volt nyomószilárdságuk és különösen élszilárdságuk.

Több kísérletünk alkalmával megfigyelhettük, hogy a porózus beton a hűvösebb időjárásra sokkal érzékenyebb, mint a kavicsbeton. Példaképpen megemlítjük, hogy október hónapban egy napon készítettünk azonos k. azonos cementtartalmú homokos kavicsbeton és habsalakbeton próbatesteket, amikor az éjszakai hőmérséklet 0 °C alá süllyedt és napközben is csak kb. +10 °C-ra emelkedett. A gyártócsarnok nagy vasajtaja egész nap nyitva állt és csak éjszakára csukták be, amikor viszont a helyiséget már nem fűtötték. A kavicsbeton próbatesteket már a következő napon ki lehetett zsaluzni, a habsalakbeton próbatestek kiformázására azonban csak a harmadik napon kerülhetett sor, a szilárdulás ilyen nagymértékben lelassult. A beton 28 napos nyomószilárdsága is természetesen jelentősen lecsökkent.

Már régebbi tufabeton kísérleteink során is megállapíthattuk, hogy ha a napi minimális hőmérséklet +5 °C alá süllyed, a tufabeton a kötési idő alatt és a szilárdulási idő kezdetén kb. 3-4 napig nem tárolható szabadban. Bár egyéb könnyűbetonokat nem vizsgáltunk hasonló időjárási viszonyok között, mégis valószínűnek látszik: legalábbis kezdetben a tufabetonokhoz hasonlóan meg kell követelnünk a beton készítésekor és első pár napi tárolása alatt a legalább +10 °C átlagos környezeti hőmérsékletet.

Az utókezelés témakörébe tartozik a beton hőérlelése is. Itt hivatkozhatunk tufabeton és perlitbeton kísérleteinkre, ahol gőzöléssel, autoklávolással és száraz meleg levegővel érleltük a próbakockákat. E vizsgálataink során egyértelműen megállapíthattuk, hogy a száraz, meleg levegővel 65-75 °C hőmérsékleten érlelt betonok szilárdabbak lettek, mint az azonos hőmérsékleten, azonos felfűtési és lehűtési idővel, azonos időtartamon át gőzkezeléssel, illetve autoklávolással érlelt próbatestek.

Bár a könnyűbeton hőérlelésére vonatkozóan még nincs elegendő vizsgálati adatunk, javasolhatjuk, hogy a könnyűbetont néhány órás pihentetés és kb. 2 óráig tartó felfűtés után kb. 70 °C hő-

mérsékletű száraz meleg levegővel érleljük mintegy 8 órán át és ezután kb. 2 óra alatt hűtsük le szobalevegőre.

Az elmondottak alapján megfogalmazhatjuk a következő szabályt:

IX. szabály: *A könnyűbetont mennél hosszabb ideig, de legalább egy hétig nedvesen kell tartani. Ez alatt az idő alatt az átlagos környezeti hőmérséklet ne legyen +10 °C-nál kevesebb. A könnyűbetont gőzöléssel nem célszerű érlelni, kedvezőbb a melegítése kb. 70 °C hőmérsékletű száraz levegővel.*

5. A KÖNNYŰBETONOK ÖSSZETÉTELÉNEK A TERVEZÉSE

Az adott követelményeket kielégítő könnyűbeton összetételének a tervezése során, a 4. fejezetben elmondottak értelmében, figyelembe kell venni az adalékanyag halmaztérfogatsúlyát (önszilárdságát) , szemszerkezetét (a 0-1 mm-es részek mennyiségét), a cementadagolás és a vízadagolás nagyságát, a tömörítési fokot és ezt össze kell hangolni a rendelkezésre álló tömörítő berendezés teljesítményével. Ezeket a feltételeket akkor elégíthetjük ki, ha előzetes próbakeveréssel és próbavibrálással meggyőződünk a tömörítő berendezésünkkel ténylegesen elérhető térfogatsúlyról. Éppen ezért minden betontervezési előírásban meg kell adni az alkalmazott vibrátor adatait is és az előírást nagyszámú vizsgálat alapján kell elkészíteni.

A könnyű adalékanyagos betonok hazai kutatása csak néhány éve kezdődött el, így a betonösszetétel tervezésére vonatkozó előíráshoz szükséges elegendő számú adat egyelőre csak habsalakbetonra áll rendelkezésre. Ezt a tervezési eljárást röviden összefoglaljuk, megjegyezve azt, hogy a tervezés eredményeképpen kapott betonösszetétellel csak abban az esetben lehet a megadott betonszilárdságot elérni, ha a készítés összes többi feltételei is megegyeztek azokkal a feltételekkel, amelyek alapján a tervezési módszer kialakult. Ezek a feltételek a következők:

- az adalékanyag 0-15 mm-es szemnagyságú, folyamatos szemszerkezetű sztálinvárosi habsalak;
- a felhasznált cement 500-as minőségi osztályú portlandcement;
- a beton konzisztenciája jó földnedves – enyhén plasztikus;
- az alkalmazott tömörítőeszköz 2800/perc rezgésszámú. 0,8 mm amplitúdójú asztal- vagy zsaluvibrátor, a vibrátor tömegereje a beton+sablon súlyának 1,6-szerese;
- a beton +15 és +20 °C közötti hőmérsékleten tárol 28 napig, az első 7 napon át állandóan nedvesen tartva.

A beton összetételét a fenti feltételek megléte esetén a 19. ábra alapján lehet megtervezni. Az mind az adott nyomószilárdságú habsalakbeton összetételének a megállapítására, mind az adott összetételű habsalakbeton nyomószilárdságának előbecslésére kielégítő pontossággal alkalmazható, ha a fent felsorolt feltételeket betartottuk.

A 19. ábra ***A*** jelű diagramja az adalékanyag önszilárdsága (szétmorzsolódási tényezője), illetve halmaztérfogatsúlya és a különböző finomrész tartalmú adalékanyag-keverékek halmaztérfogatsúlya közötti összefüggést adja meg.

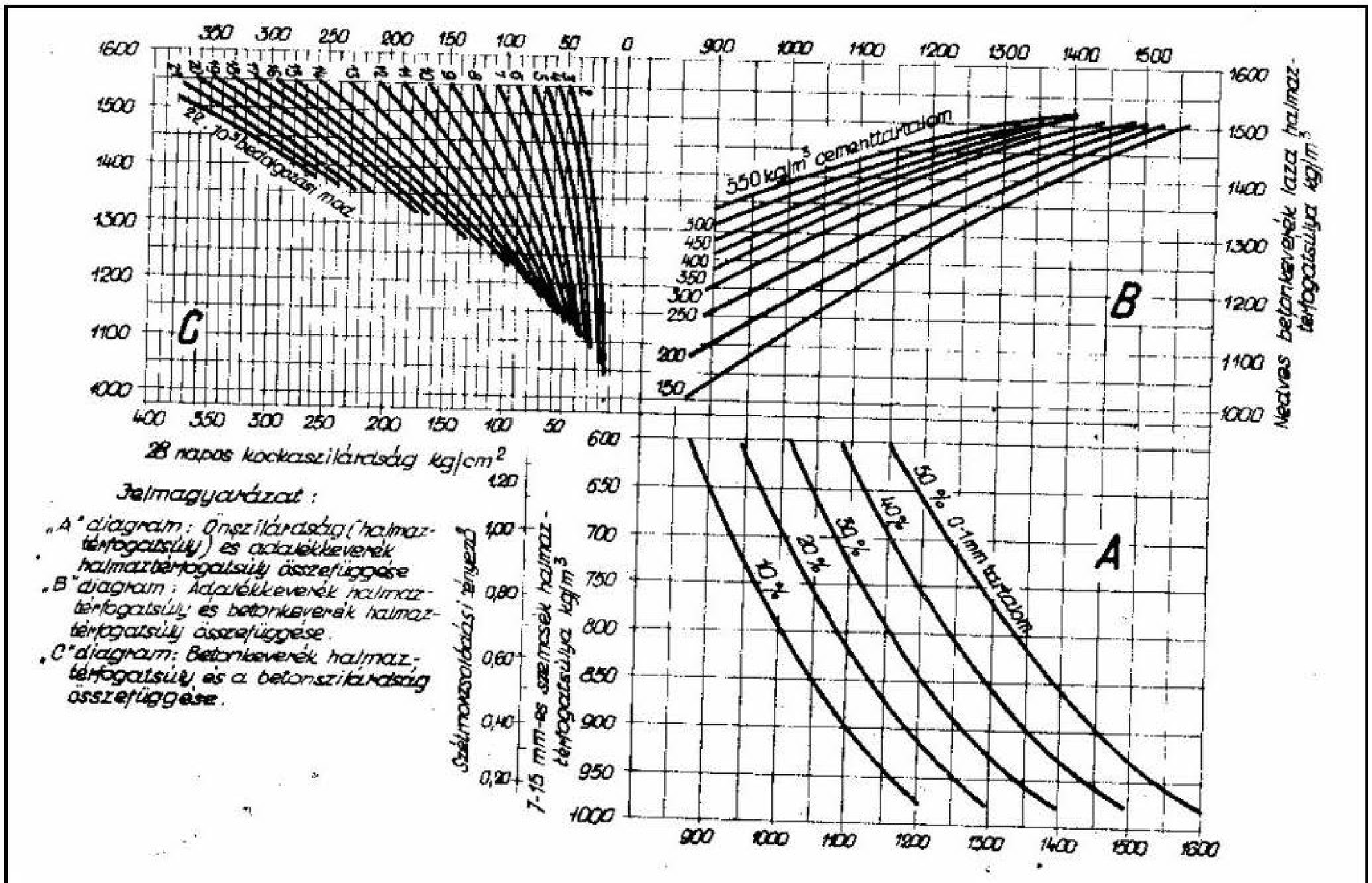
A 19. ábra ***B*** jelű diagramján az adalékanyag-keverék halmaztérfogatsúlya és a különböző cementtartalmú friss betonkeverékek laza halmaztérfogatsúlya közötti összefüggést rajzoltuk meg.

19. ábra ***C*** jelű diagramjában a friss betonkeverék laza halmaztérfogatsúlya és a megszilárdult beton 28 napos kockaszilárdsága közötti összefüggés látható a bedolgozási modulustól függően. A bedolgozási modulus (B) a tömörítési foknak (T_f) és a cementtartalomnak (C) a szorzata:

$$B = C \times T_f$$

A beton összetételét az ábra segítségével a következőképpen tervezhetjük meg.

A rendelkezésre álló adalékanyag jellemzői (szétmorzsolódási tényező, halmaztérfogatsúly, finomrésztartalom), valamint a szándékolt cementadagolás segítségével megállapítjuk a laza, nedves



19. ábra: Kohóhabsalak betonok összetételének a tervezése

betonkeverék halmaztérfogatsúlyát az ***A*** és a ***B*** diagram felhasználásával.

A ***C*** diagramban a szükséges nyomószilárdság függőlegesét és a betonkeverék laza halmaztérfogatsúlyának a vízszintesét metszésbe hozzuk és leolvassuk a szükséges bedolgozási modulust. A bedolgozási modulust elosztva a cementtartalommal a szükséges tömörítési fokot nyerjük, ha pedig a tömörítési fokot megszorozzuk a betonkeverék laza halmaztérfogatsúlyával, akkor a szükséges készítési térfogatsúlyt számíthatjuk ki. Ha az így kapott adatok irreálisak, akkor a cementadagolást, vagy a szemszerkezetet megváltoztatjuk, s a számítást még egyszer elvégezzük.

Példa: Rendelkezésünkre áll 0,8 szétmorzsolódási tényezőjű, 30 % finomrészt tartalmazó habsalak. Felhasználni szándékolt cementmennyiség 250 kg/m^3, előírt betonszilárdság BK 100.

Az adott adalékanyag keverék laza halmaztérfogatsúlya az ***A*** diagram szerint 1130 kg/m^3, 250 kg/m^3 cementadagolással és enyhén plasztikus konzisztenciával a betonkeverék halmaztérfogatsúlya a ***B*** diagram szerint 1310 kg/m^3. A ***C*** diagram szerint BK 100 betonminőség és 1310 kg/m^3 betonkeverék-halmaztérfogatsúly mellett a szükséges bedolgozási modulus 10700. A tömörítési fok 10700:250 = 42,9 %, a beton készítési térfogatsúlya: 1310×1,429 = 1870 kg/m^3.

A számítás során kapott adatok reálisak, a betonösszetétel tehát a következő:

szétmorzsolódási tényező:	0,80
finomrésztartalom:	30 súly %
cementadagolás:	250 kgm^3
tömörítési fok:	42,9 %
készítési térfogatsúly:	1870 kg/m^3

Ezzel a betonösszetétellel és készítési térfogatsúllyal BK 100 minőségű beton állítható elő. A várható száraz betontérfogatsúly a készítési térfogatsúlynál 12-15 %-kal kisebb, vagyis 1620-1670 kg/m^3. Az adott betonösszetétel mellett ható betonszilárdságot a 19. ábra segítségével a következőképpen becsülhetjük:

Ismert tényezők: habsalak önszilárdság (halmaztérfogatsúly), habsalak adalékanyag finomrész tartalma, cementtartalom, készítési térfogatsúly. Az ***A*** és a ***B*** diagram segítségével az előbbi módon meghatározzuk a betonkeverék laza halmaztérfogatsúlyát. A készítési térfogatsúly és a betonkeverék halmaztérfogatsúlyának a különbségéből a tömörítési fok számítható, míg a bedolgozási modulust a tömörítési fok és a cementtartalom szorzata adja meg. A ***C*** diagramból a bedolgozási modulus és a betonkeverék halmaztérfogatsúlyának adatai alapján a várható 28 napos kockaszilárdság becsülhető.

Példa: A habsalak adalékanyagú betonkeverék összetétele az alábbi:

Szétmorzsolódási tényező:	0.65
Finomrész tartalom:	35 súly %
Cementtartalom:	270 kg/m^3
Készítési térfogatsúly:	1900 kg/m^3

Az ***A*** diagram szerint 0,65 szétmorzsolódási tényezőjű, 35 súly % finomrész tartalmú habsalak adalékanyag halmaztérfogatsúlya 1210 kg/m^3, míg 270 kg/m^3 cementadagolással és enyhén plasztikus konzisztenciával a betonkeverék halmaztérfogatsúlya 1380 kg/m^3. A készítési térfogatsúlyból most már számítható a tömörítési fok: [100×(1900 – 1380)]:1380 = 37,6 %, a bedolgozási modulus pedig: 37,6×270 = 10200. A ***C*** diagram szerint 1380 kg/m^3 betonkeverék-halmaztérfogatsúlyhoz és 10200 bedolgozási modulushoz115 kg/cm^2 28 napos kockaszilárdság tartozik.

Eddigi vizsgálataink szerint a betontervezési eljárás pontossága, ha a készítési előírásokat betartjuk, +10 % és –2% közötti, vagyis a gyakorlat számára kielégítő pontosságú.

Végezetül fel kell hívnunk a figyelmet arra, hogy az ismertetett számszerű adatokat nem szabad abszolút értékűnek tekinteni. A betontechnológia szakterülete egyébként sem merev szabályok összessége, hanem az adott feltételekhez igazítható tapasztalatok gyűjteménye. Az ismertetett adatokat is ebben a szellemben kell kezelni, vagyis elsősorban a tendenciákat kell figyelemmel kísérni, hogy azok alapján a helyi körülményekhez legjobban igazodó, az adott követelményeket kielégítő, cementtakarékos könnyűbetonokat készíthessünk. Ezzel az ismertetéssel ehhez kívántunka gyakorlatban dolgozó kollégák számára segítséggel szolgálni.

FELHASZNÁLT IRODALOM

Chabrel, L.: *Laitier expansé*. Cahiers du D.C. et T. du B. 208. füzet, 23. szám

Dr. Ing. Hamann, H.: *Über die Druckfestigkeit von Leichtbeton*. Betonstein Zeitung. 1953. 9.

Horváth B. E.: *Salgótarjáni kazánsalakkal végzett középblokkgyártási kísérletek.* ÉTI Jelentés, 1960.

Hummel, A.: *Die Ermittlung der Kornfestigkeit von Ziegelsplitt.* Schriftenreihe des Deutsches Ausschuss für Stahlbeton. 114. füzet, Berlin, 1954.

Josephson, G. W.: *Utilisation of Blast Furnace Slag in Germany.* BIOS Final Report, 1946. 823. szám.

Kluge, R. W.: *Lightweight Aggregate Concrete.* Journal of the ACI. 1956. okt.

Miller, R. W.: *Expanded Blast Furnace Slag for Use as Lightweight Concrete Aggregate.* Blast Furnace and Steel Plant. 1953. jún.

Parker, T. W.: *Blast Furnace Slag Building Materials.* Building Research Station. 1950. dec.

Rothfuchs, G.: *Betonfibel.* Berlin, 1958.

Rudnai Gy.: *Salakok építőipari felhasználása.* Magyar Építőipar. 1959. 5.

Shideler, J. J.: *Lightweight Aggregate Structural Concrete.* Journal of the ACI. 1957. okt.

Székely Á. – Ujhelyi J.: *Habosított kohósalak adalék felhasználása közép és nagyblokkos építkezésekhez.* Magyar Építőipar. 1959. 8.

Ujhelyi J.: *A tufa építőipari felhasználása.* Építőanyag. 1957. 6.

Ujhelyi J.: *Tufabetonok.* Magyar Építőipar. 1958. 10.-12.

Ujhelyi J.: *Kohóhabsalakbetonok.* Építőanyag, 1959. 12.

Ujhelyi J.: *Mesterséges adalékanyagok felhasználásával készülő könnyűbetonok technológiájának kidolgozása.* ÉTI Jelentés. 1959. 6.

Ujhelyi J.: *Hazai vulkáni tufák racionális építőipari felhasználásával kapcsolatos kutatások.* ÉTI Jelentés, 1959. 9.

Ujhelyi J.: *Pernyekavicsbeton késztési technológiájának kutatása.* ÉTI Jelentés, 1960.

Ujhelyi J.: *Az agyagkavicsbeton (keramzitbeton) készítési technológiájának kutatása.* ÉTI Jelentés, 1960.

Dr. Ing. Vocke, E.: *Kleine Leichtbetonkunde für Praxis.* Betonstein Zeitung. 1958. 9., 10., 11., 12.

Dr. Ing. Wesche, K. H.: *Beton aus porigen Stoffen.* Betonstein Zeitung. 1958. 3.

Magyar Építőipar, 1961.9. pp 401-405

Könnyűadalékanyagos beton alkalmazása feszített szerkezetekhez*

UJHELYI JÁNOS

Az épületek és a mérnöki szerkezetek súlyának csökkentése a szakemberek egyre jelentősebb feladata. E feladat megoldható többek között feszített beton, ezen kívül a könnyűbeton alkalmazásával. Magától értetődik, hogy ennek a két eljárásnak az összekapcsolásából további előnyök várhatók.

Ismeretes, hogy a feszített szerkezetekhez alkalmazandó betonok tulajdonságai közül legfontosabbak a beton nyomó- és hajlítószilárdsága, rugalmassági modulusa, zsugorodása, kúszása, repedésmentessége, valamint az acélbetétek tapadása [1].A téma tárgyalása során először a fenti tulajdonságokat kívánjuk meghatározni, valamint ismertetjük a tulajdonságok vizsgálatának a módszereit, és az ezzel kapcsolatos problémákat, majd foglalkozunk a hazai és külföldi kutatási eredményekkel és a betonkészítés technológiai problémáival feszített szerkezetek esetében.

1. A beton tulajdonságai és vizsgálatának módszerei

1.1. Nyomó- és hajlítóhúzószilárdság

A beton nyomószilárdsága alatt hazánkban a 3 db 20 cm-es élhosszúságú próbakocka átlagos törési szilárdságát, hajlítóhúzószilárdsága alatt pedig 3 db 15×15×70 cm-es gerenda hajlításából származó átlagos húzószilárdságát értjük. A kockát egyenletesen megoszló terheléssel, a gerendát 60 cm támaszközön, a harmadokban élmentén ható erővel kell vizsgálni. Külföldön ettől eltérő méretű próbatesteket is használnak: a nyomószilárdság vizsgálatához hengereket, hasábokat, kisebb élhosszúságú kockákat stb., a húzószilárdság vizsgálatához eltérő méretű hasábokat és más terhelési módszereket alkalmaznak (pl. fekvő hengerre élmentén ható erővel lehet megállapítani a hasítóhúzószilárdságot). Éppen ezért a külföldi adatok tanulmányozása során először azt kell kiderítenünk, hogy a beton szilárdsága alatt milyen próbatest milyen vizsgálati módszerrel megállapított szilárdságát kell érteni, majd az adatokat – összehasonlíthatóságuk érdekében – a hazai vizsgálatokra át kell számítani.

A kavicsbetonok nyomó- és húzószilárdságának a vizsgálatára készített próbatesteket azonos módon, vasdöngölővel tömörítjük. Ezzel az eljárással erőteljesen dolgozzuk be a betonkeveréket, így tömörsége és térfogatsúlya egyaránt nagy. Könnyűbetonok nyomó- és húzószilárdságának a vizsgálatára azonban előírt térfogatsúlyú betonpróbatesteket kell készíteni, így a tömörítés mértékét és módját az előírt térfogatsúlynak megfelelően kell megválasztani [2]. Nagyobb szilárdságú, tehát feszíthető könnyűbeton keverék tömörsége ugyan viszonylag nagy, ennek ellenére bedolgozáskor minden esetben figyelemmel kell kísérni a térfogatsúly alakulását, mert a könnyűbeton veszélyes mértékben túltömöríthető.

Az előírt térfogatsúly betartása természetesen nemcsak a nyomó- és hajlítószilárdság, hanem egyéb tulajdonságok vizsgálatakor is követelmény.

1.2. Rugalmassági modulus

Az ideálisan egynemű és rugalmas anyag terhelés okozta hosszváltozása és feszültsége között a *Hooke-törvény* szerint lineáris összefüggés áll fenn, azaz a feszültség egyenlő a fajlagos hosszváltozásnak és egy állandónak a szorzatával. Ez az állandó a rugalmassági modulus (E, kg/cm^2), azaz az egységnyi fajlagos hosszváltozás okozta feszültség [3].

A könnyűbeton rugalmassági modulusa – ugyanúgy, mint a kavicsbetonoké – a feszültségnek és a beton megterhelés alatti szilárdsági jellemzőinek a függvénye. Rövid ideig tartó, ún. pillanatnyi terhelés alatt a terhelt betonhasáb alakváltozási görbéje már az első megterheléskor is, az ún. elsődleges $\sigma - \varepsilon$ vonal kezdeti szakaszán sem egyenes, ezért jelent problémát, hogy a beton rugalmasságának a mérésekor milyen vizsgálati módszert és milyen vizsgálati értéket vegyünk alapul.

---

* Az Építéstudományi Intézetben végzett munka alapján

Bach, Bolomey, Graf, Roš és *Schüle* kísérletei szerint pillanatnyi terhelés esetén kicsiny, a hasábszilárdságnak mintegy harmadát kitevő feszültségértékig a rugalmassági modulus csupán a beton mindenkori hasáb-, illetve kockaszilárdságától függ [4]. A szilárdságtól függő rugalmassági modulus számítására sok kutató dolgozott ki képletet, amelyek közel azonos eredményt adnak.

A rugalmassági modulus vizsgálatára nincs általános érvényű, szabványos eljárás, viszont értéke a vizsgálati módszertől is függ. Az ÉTI a statikus rugalmassági modulust 15×15×60 cm^3 méretű hasábokon állapítja meg, a hasábszilárdság 20, 40 és 60 %-ának megfelelő terhelés ötszöri ismétlésével és a hosszváltozások egyidejű mérésével. A dinamikus rugalmassági modulust ugyancsak 15×15×60 cm^3–es hasábokon, longitudinális hullámok keltésével, a $v = (E/\rho)^{0,5}$ ismert összefüggés alapján határozzuk meg.

Irodalmi adatok szerint a dinamikus rugalmassági modulus értéke az összehasonlítás céljára alkalmasabb, mint a statikus rugalmassági modulusé. Az ÉTI külföldi eredményekkel egybehangzó vizsgálati adatai szerint a statikus rugalmassági modulus mintegy 10-15 %-kal kisebb, mint a dinamikus rugalmassági modulus.

A különböző vizsgálati módszerek eredménye abszolút értékben tehát nem alkalmas közvetlen összehasonlításra, azonban az eltérések általában 30 %-nál nem nagyobbak, ennek figyelembe vételével viszont nagyságrendileg összehasonlíthatók.

1.3. Zsugorodás

A zsugorodás a beton összehúzódása kiszáradás és vegyi folyamatok hatására az idő függvényében, de függetlenül a külső erők okozta feszültségtől.

A térfogatváltozás (zsugorodás vagy duzzadás) jelensége minden olyan építőanyagon tapasztalható, amelynek kötőanyaga cement (portlandcement vagy ennek módosulatai). A térfogatváltozás a cement és a víz, illetve a cement hidratációs terméke és a víz egymásra hatásának a következménye. A térfogatváltozás mérése sokkal nehezebb, mint a hosszváltozásoké, így a gyakorlatban a cementkötésű anyagok hosszváltozását (zsugorodását) kísérjük figyelemmel.

A cementkötésű anyagok zsugorodásának alakulása az időben, ugyanúgy, mint magának a szilárdulásnak az alakulása, több szakaszra osztható. *A. Hummel* szerint [5] ezek:

1. szakasz: a víz hozzáadásától a kötés kezdetéig,
2. szakasz: a kötés kezdetétől a kötés végéig,
3. szakasz: a tulajdonképpeni szilárdulás alatt végbemenő zsugorodás.

A zsugorodás folyamatának három szakaszát azért kell egymástól elválasztani, mert mindhárom szakaszban más hatásokat észlelhetünk, a beton tulajdonságait a zsugorodás másképpen befolyásolja.

A víz hozzáadásától a kötés kezdetéig eltelt idő alatti zsugorodást, tehát a puha anyag térfogatváltozását töppedésnek (Schrumpfen) nevezhetjük, szemben a szilárd anyag zsugorodásával (Schwinden). A töppedés során az anyagban nem keletkezik mérhető belső feszültség, csupán fellazulás. A töppedés oka – akárcsak a zsugorodásé – a készítési vízmennyiség egy részének eltávozása. A töppedést – nehézkes mérése miatt – általában eddig nem vették figyelembe, pedig *L'Hérmite* és *Grieu* mérései szerint [6] sokkal jelentősebb értékű lehet, mint a zsugorodás. E mérések során ugyanis tiszta cementpép esetében azt tapasztalták, hogy a készítéstől számított 1 napos korig a töppedés 1,8 ‰, míg 1 napos kortól 28 napos korig a zsugorodás csak 0,5 ‰.

Az eddigi zsugorodásmérések pedig általában 1-7 napos korban kezdődnek.

A kötés kezdetétől a kötés végéig tartó időszakban a hossz- és a térfogatváltozás szempontjából két folyamat hat egymásra: a vízelpárolgás következtében zsugorodás jön létre, míg a cement hőfejlesztése és egyéb okok miatt duzzadás, hőtágulás lép fel. Ha a hőfejlődés hosszantartó, a kötés egész ideje alatt elhúzódik, akkor a duzzadás felülmúlhatja a zsugorodást. Ha viszont a hőfejlődés gyors, csak a kötés kezdetére korlátozódik, akkor a zsugorodás a nagyobb értékű [5].

A tulajdonképpeni szilárdulás alatti zsugorodás már ismét csak a cement, illetve ennek hidratációs terméke, és a víz egymásra hatásának a következménye. Ezzel kapcsolatban is meg kell különböztetnünk két esetet. A térfogatváltozás egy része anélkül jön létre, hogy a beton a környezetből vizet venne

fel vagy adna le, a víz térfogata ugyanis a cementbe beépülve lecsökken. Ezt a térfogatváltozást az amerikai és a spanyol kutatók [7], [8] *„intrinsic shrinkage"*-nek (bensőséges zsugorodás) nevezik. A térfogatváltozás másik része a környezetből való vízfelvétel, illetve a betonban lévő víz elpárolgása következtében keletkezik, és ezt *Torroja* és *Paez* [8] *„ecological shrinkage"*-nek (külső határoktól függő zsugorodás) nevezte. *Meyer* és *Nielsen* véleménye szerint [10] a tulajdonképpeni térfogatváltozás folyamatát a cement hidratációja miatti zsugorodással (lásd: *intrinsic shrinkage*), illetve a cementhabarcs higroszkopikusságával (lásd: *ecological shrinkage*) összefüggésben lehet szétválasztani. A bensőséges zsugorodás végeredményben irreverzibilis folyamat, míg a külső hatásoktól függő zsugorodás reverzibilis.

A tulajdonképpeni szilárdulási idő alatti térfogatváltozás – akár bensőséges, akár külső hatásoktól függő térfogatváltozás – általában nem akadálytalan, mivel a cement már megkötött, és a szilárd adalékanyag szemcsék általában nem zsugorodnak. Ez az akadályozott, gátolt zsugorodás pedig belső feszültségeket hoz létre. A bensőséges térfogatváltozást részben a hidratizált cementszemcsék közötti szilárd kötés, részben a cementhabarcsban lévő inert alkotórészek (pl. a cementgéllel körülvett, nem hidratizált cementszemcsék) nagymértékben akadályozzák. Ezért tapasztalta *Powers* és *Brownyard* [7], hogy még egy teljesen hidratált cementpép számított zsugorodása 16 % (!), addig egy 0,6 víz/cement tényezőjű cementpép tényleges zsugorodása csak 2 % volt. Ennek a folyamatnak következtében létrejövő feszültségeket sajátfeszültségnek nevezhetjük, ezt a sajátfeszültséget tehát a bensőséges zsugorodás akadályoztatása okozza.

A külső hatásoktól függő térfogatváltozási folyamat úgy keletkezik, hogy a beton és a környező levegő nedvességtartalma kiegyenlítődik. Nyilvánvaló, hogy ez a csere a betontest felületén igen gyorsan létrejön, míg a test belseje felé haladva egyre lassul. Ennek következtében a test keresztmetszetében nedvességkülönbségek, nedvességlépcsők észlelhetők, különböző nedvességtartalmú rétegekben különböző a térfogatváltozás s így a létrejövő feszültségek is különbözők, amelyek a betontest alakjától és méreteitől függenek. Elsősorban ez indokolja *Guttmann* vizsgálati eredményeit is [9], aki a térfogatváltozásoknak függését a próbatestek alakjától és nagyságától részletekbe menően megállapí-totta. A térfogatváltozás okozta feszültségeknek ezt a rendszerét lépcső-feszültségnek nevezhetjük [10].

Az eddigiekben összefoglalt megállapítások cementpéppel és cementhabarccsal végzett kísérletek eredményei. A beton térfogatváltozása csak annyiban különbözik a cementpép, illetve a cementhabarcs térfogatváltozásától, amennyiben a térfogatváltozást akadályozó inert anyag (általában az adalékanyag, vagy vasbeton esetén az acélbetét) tulajdonságai eltérőek. Éppen a homokos kavics beton és a könnyű adalékanyagos beton térfogatváltozásának egységes szemlélete érdekében volt szükség az eddigiekben részletezett folyamatok ismertetésére.

A homokos kavics betonok térfogatváltozását okozó hatások általában ismertek. A beton összetételét tekintve a zsugorodás akkor növekszik, ha nő a cement és a víz adagolása, nő az adalékanyag finomrészeinek a mennyisége. Ezeknél a hatásoknál azonban sokkal jelentősebbek a külső körülmények [11]: a tárolás módja és körülményei. A gyakorlat számára mindig a külső hatásoktól függő térfogatváltozás a mérvadó, vagyis az a térfogatváltozás, amely a beépítés után jön létre. Ez pedig a készítéstől számított legalább 1 hónap elteltével következik be, tehát akkor, amikor a térfogatváltozást már csak a külső körülmények befolyásolják. Ezek a külső körülmények minden esetben a környező levegő nedvességtartalmával és a légmozgással vannak összefüggésben, vagyis a beton kiszáradását előidéző, vagy azt hátráltató jelenségekkel. Feszített szerkezetek térfogatváltozását is attól az időponttól kell figyelemmel kísérnünk, amikor a feszültséget a betonra engedjük.

Az eddigiek mind a homokos kavics, mind a könnyű betonokra egyaránt vonatkoznak. A két betontípus közötti legnagyobb eltérést az adalékanyag tulajdonságai jelentik. Egyrészt a térfogatváltozás akadályozás összefügg az adalékanyag merevségével, rugalmassági modulusával, másrészt maga a térfogatváltozás az adalékanyag térfogatváltozásával. Márpedig a könnyű adalékanyagok térfogatváltozása, saját zsugorodása sok esetben nem elhanyagolható mértékű. Ez a zsugorodás általában külső határoktól függő (*ecological shrinkage*), bensőséges zsugorodása csak egyes könnyű adalékanyagoknak – pl. a tufazúzaléknak – van [12].

A beton zsugorodása legcélszerűbb mérésének az irányelveit *A. Hummel* határozta meg [5]. Ezeket az irányelveket az alábbiakban foglaljuk össze:

Azonos méretű próbatesteket kell készíteni, ajánlatos az általában elfogadott 10×10×51,5 cm^3-es próbahasábok vizsgálata. Rögzíteni kell a friss beton súlyát, a cement súlyarányát, az adalékanyag összetételét (szemszerkezetét) és súlyarányát, a készítési víz mennyiségét (a beton konzisztenciáját) és a friss beton pórustérfogatát.

A próbatesteket az első mérésig zárt, nedves térben kell tárolni, ezután kizsaluzva klímaterembe kell helyezni. A klímaterem hőmérséklete és nedvességtartalma célszerűen olyan legyen, amilyen az átlagos külső viszonyoknak megfelel, tehát kb. +20 °C hőmérséklet és 6-65 % relatív páratartalom. Az első mérést a lehető legkorábban, de legalább 24 órás korban kell végrehajtani. Nem elegendő a végzsugorodás mérése, hanem meg kell állapítani a zsugorodás folyamatát is, tehát egy éven át az első félévben havonként, majd negyedévenként kell mérni. A zsugorodás vizsgálatával egyidőben ellenőrizni kell a beton nedvességtartalmát is.

Ezekből az elvekből következik, hogy hosszváltozások vizsgálatára az eddig általában alkalmazott mikrométer csavaros berendezések a célnak nem felelnek meg. E berendezések ugyanis mérőfejekkel vannak ellátva, amelyeket a mérés során a próbatestekbe erősített mérőcsúcsokhoz ütköztetünk. Az ütköztetés okozta kismértékű erőhatás azonban a nem kellő szilárdságú (24 órás) anyagba a mérőcsúcsokat benyomhatja és így a mérést pontatlanná teszi. Éppen a fiatalabb korban elvégezhető mérések érdekében kell a hazai laboratóriumokat optikai mérőberendezéssel felszerelni.

A feszített szerkezetekhez alkalmazott beton egyik legfontosabb tulajdonsága a zsugorodása, ezért a zsugorodás folyamatának és mértékének pontos mérése a feszíthetőség elbírálása szempontjából elsőrendű feladat.

1.4. Kúszás

A kúszás külső terhelés okozta – azaz feszültség következtében keletkező – rugalmatlan alakváltozás az idő függvényében. A kúszás a zsugorodással szorosan összefüggő tulajdonság; azok a körülmények, külső hatások, amelyek a zsugorodást befolyásolják, azonos hatással vannak a kúszásra is. Az 1.3. fejezetben részletesen foglalkoztunk a zsugorodás jelenségével, lefolyásával és okaival, az ott mondottak értelemszerűen alkalmazhatók a kúszás jelenségére, lefolyására és okaira is, azzal a különbséggel, hogy kúszás esetében csak a tulajdonképpeni szilárdulás alatti alakváltozásról beszélhetünk, előbb ugyanis a beton nem terhelhető.

Tekintettel a kúszás és a zsugorodás közötti analógiára, a kúszás jelenségével nem foglalkozunk részletesen, csak annyit jegyzünk meg, hogy a magas hőmérséklet (+25 és +35 °C között) és a csekély nedvességtartalom ugyanúgy fokozza a kúszás mértékét, mint a zsugorodásét. E két jelenség azonossága önként felveti azt a kérdést, vajon a kúszás nem azonos tulajdonság-e a zsugorodással, vajon nemcsak egy – a külső hatások előnytelen változása miatti – erőteljesebb térfogatváltozás? Az eddigi elméleti és gyakorlati vizsgálódások alapján erre a kérdésre nem lehet határozott választ adni, azonban valószínűnek kell tartani, hogy bár e két tulajdonság hasonló jellegű, mégis különböző folyamat következménye. A külső hatások okozta zsugorodás ugyanis reverzibilis folyamat: a kiszáradt és ennek következtében zsugorodott beton vízfelvétel közben eredeti térfogatát visszanyeri. A terhelés okozta alakváltozás, a kúszás azonban irreverzibilis, rugalmatlan térfogatváltozás.

A betonszerkezet alakja a kúszás és a zsugorodás folyamatát azonosan befolyásolja: a tömegükhöz képest nagy szabad felületű elemek kúszása és zsugorodása jelentősebb, mint a tömegükhöz képest kisebb szabad felületű elemeké.

A kúszás mérése során az állandóan azonos terhelés legkönnyebben mérlegkaros terhelő berendezéssel szabályozható, ezzel azonban viszonylag kevés próbatest vizsgálható egy időben, mert egy-egy berendezés költséges és nagy helyet foglal el. Nagyobb számú elem ellenőrzését teszi lehetővé a rugókkal felszerelt vizsgáló eszköz, mert aránylag sok berendezést lehet még gazdaságosan készíteni és kis helyen is elfér. Ez esetben azonban a rugók feszültségét állandóan ellenőrizni kell, nehogy a próbatest rövidülése miatt a rugófeszültség, vagyis a terhelő erő megváltozzék.

A kúszást és a zsugorodást egyidőben, azonos körülmények között kell vizsgálni; a kúszás vizsgálata során mért hosszváltozásból a zsugorodás mértékét le kell vonni, a különbség a tiszta kúszás.

1.5. Repedésmentesség

A repedésmentesség üzemi állapotban a feszített betonszerkezetek ugyancsak fontos tulajdonsága. A feszített szerkezetek, valamint a beléjük ágyazott acélbetétek kis keresztmetszeti méretei miatt ugyanis fontos, hogy a beton ne repedjen meg az acélbetétekig, mert ellenkező esetben a betétek könnyen rozsdásodnak, és így keresztmetszetük veszélyesen lecsökkenhet.

A repedésmentesség vizsgálatához feszített betonhasábokat kell készíteni, amelyeket hajlító igénybevételnek teszünk ki, és hosszabb időn keresztül vizsgáljuk az alakváltozás é a beton viselkedését. Célszerű a vizsgálatot a használat során várható időjárási körülmények között elvégezni, és a vizsgálat befejeztével az elemekből az acélbetéteket kivenni, hogy azok rozsdásodásának a mértékét ellenőrizhessük.

1.6. Acélbetétek tapadása

A feszített acélbetétes betonban a vastapadás, valamint a betét és a beton közötti felületi kötés megoszlásának a vizsgálata – akárcsak a normál vasbetétes szerkezetekben – még nincs megoldva. Ezzel a kérdéssel nemcsak az előfeszített, hanem az utófeszített beton szempontjából is foglalkozni kell akkor, ha az acélbetét és a beton közötti felületi kötést habarcs injektálása révén, vagy más módon hozzuk létre.

A mérnöki gyakorlat igényeit általában kielégíti a vastapadás következő vizsgálati módszere:

15×15×20 cm^3-es hasábformába a 20 cm éllel párhuzamosan középen vasbetétet helyezünk el s a betont ezután tömörítjük a formába. A betonhasábot 28 napos korban befogó szerkezetbe helyezzük, és a vasbetétet a betonból egyenletesen növekvő erővel kihúzzuk. Mérjük az első megcsúszáshoz tartozó terhelő erőt, amelyet elosztva a vasbetét betonnal körülvett felületével számítható a vastapadás mértéke kg/cm^2-ben. Az átlagos tapadófeszültségnek az az értéke, amelynél a huzal a betonban csúszni kezd, általában annál nagyobb, minél szilárdabb (tehát minél idősebb) a beton., minél durvább az acélbetét felülete és minél kisebb a vasátmérő.

Mint ismeretes, *Hoyer* elmélete szerint [13] a betonban a feszített acélbetét elsősorban a végén tapad. Van olyan elmélet, amely a vasbetét tapadásának mértékeként azt az acélhosszat állapítja meg, amely a betonba befogva elegendő ahhoz, hogy a betét már ne csússzék meg, hanem elszakadjon. Ez a vizsgálati módszer *Hoyer* elméletén alapul.

2. A beton tulajdonságainak vizsgálati eredményei

A mellékelt táblázatban néhány külföldi és hazai közlemény adatait gyűjtöttük össze. A közlemények egy része közvetlenül feszített könnyűbeton szerkezetekkel foglalkozik, más része csak a vizsgálati adatokat és a technológiai előírásokat tartalmazza anélkül, hogy megjelölné a felhasználási területet. Olyan ismertetéseket válogattunk ki, amelyekben a feszített szerkezetekhez alkalmazható betonok sok tulajdonságáról találhatók adatok.

Az adatok értékelésekor figyelembe kell venni, hogy azok eltérő vizsgálati eljárások eredményei. Tekintettel azonban arra, hogy a vizsgálati eljárások pontos leírása a közleményekből általában hiányzik, ezért az adatokat csak nagyságrendileg szabad összehasonlítani.

Az egyes tulajdonságok (nyomószilárdság, hajlító szilárdság, rugalmassági modulus, zsugorodás, kúszás) a beton összetételétől és készítési technológiájától függnek, ezek ismertetésére azonban most nem térünk ki. Meg kell jegyeznünk azonban, hogy a könnyűbeton legkedvezőbb összetétele és készítési technológiája sok vonatkozásban eltér a homokos kavics betonétól, azaz a könnyűbeton tulajdonságait másképpen befolyásolja a szemszerkezet, a cementtartalom, a víztartalom, a tömörítés stb., mint a szokványos normálbetonokét. Ez elsősorban azért van így, mert nemcsak a legnagyobb nyomószilárdságot, hanem a legkedvezőbb (azaz legkisebb) térfogatsúlyt is el kell érni, viszont e két tulajdonság egymásnak ellentmond. A könnyűbeton összetétele és készítési módja tehát minden esetben csak a szilárdság és a térfogatsúly fontosságának a mérlegelése és összehangolása után határozható meg.

Irodalmi hivatkozás	Adalékanyag megnevezése	Cementtartalom kg/m³	Vízadagolás l/m³	Légpórusképző (levegőtart.) %	Roskadás cm	Térfogatsúly kg/m³		Nyomószilárdság kg/cm²		
						készítési	kiszárítva	28 nap	90 nap	½ év
(14)	Duzzasztott agyagkavics	224	337	5,0	5,1	1820	1500	440	440	430
(14)	Duzzasztott agyagkavics	312	382	5,0	5,1	1820	1520	570	530	530
(14)	Duzzasztott agyagkavics	419	352	6,0	5,1	1800	1540	360	570	590
(14)	Duzzasztott agyagpala ..	300	349	7,0	1,3	1570	1300	350	410	420
(14)	Duzzasztott agyagpala ..	320	340	7,2	5,1	1560	1300	320	330	300
(14)	Duzzasztott agyagpala ..	320	362	6,6	12,7	1590	1310	260	270	240
(15)	Kohóhabsalak	167	277	nem közlik	10,2	1120	975	40	—	—
(15)	Kohóhabsalak	290	302	nem közlik	10,2	1297	1152	121	—	—
(15)	Kohóhabsalak	426	317	nem közlik	10,2	1488	1263	194	—	—
(15)	Kohóhabsalak	178	292	nem közlik	12,7	1378	1216	30	-	-
(15)	Kohóhabsalak	268	332	nem közlik	7,6	1570	1424	98	-	-
(15)	Kohóhabsalak	357	335	nem közlik	12,7	1680	1503	172	-	-
(15)	Duzzasztott agyagkavics	173	228	nem közlik	10,2	13.6	1290	90	-	-
(15)	Duzzasztott agyagkavics	246	228	nem közlik	7,6	1423	1248	183	-	-
(15)	Duzzasztott agyagkavics	374	248	nem közlik	12,7	1520	1345	294	-	-
(16)	Duzzasztott agyagkavics	200	nem közlik	nem közlik	nem közlik	1300	—	70	-	-
(16)	Duzzasztott agyagkavics	300	nem közlik	nem közlik	nem közlik	1400	—	120	-	-
(16)	Kohóhabsalak	300	nem közlik	nem közlik	nem közlik	1500	—	110	-	-
(17)	Duzzasztott agyagpala ..	456	220	3,2	7,0	1540	1420	313	325	306
(17)	Duzzasztott agyagkavics	335	289	5,6	7,0	1550	1350	327	372	369
(17)	Kohóhabsalak	466	250	4,0	7,0	1750	1620	280	308	288
(18)	Duzzasztott agyagpala ..	177	334	8,0	7,6	1540	1275	68	—	111
(18)	Duzzasztott agyagpala ..	275	322	6,5	6,4	1610	1390	202	—	271
(18)	Duzzasztott agyagpala ..	380	340	3,0	5,1	1735	1480	299	-	338
(18)	Duzzasztott agyagpala ..	520	347	1,5	10,8	1780	1550	366	-	377
(19)	Duzzasztott agyagkavics	380	200	nem közlik	4,0	1700	1590	350	-	—
(20)	Kohóhabsalak	350	220	—	—	1950	1810	200	-	—
(21)	Porszénhamukavics	300	380	—	—	1800	1500	210	-	—

* 105 kg/cm² feszültség mellett.
** 70 kg/cm² feszültség mellett.
*** 42 kg/cm² feszültség mellett.

Hajlítószilárdság kg/cm²			Tapadószilárdság	Rugalm. mod. 10^{-3} kg/cm²				Zsugorodás ‰				Kúszás ‰	
				statikus		dinamikus							
28 nap	90 nap	½ év	kg/cm²	28 nap	90 nap	28 nap	90 nap	60 nap	1 év	2 év	60 nap	1 év	2 év
27	45	46	—	150	120	—	—	0,20	0,45	0,55	0.40*	1,06*	1,15*
24	26	39	-	140	145	-	-	0,20	0,50	0,60	0.40*	0,60*	0,80*
36	28	21	-	160	180	170	150	0,25	0,80	0,85	0.75*	1.20*	1,35*
23	21	17	-	—	—	160	130	0.55	0,80	0,80	0,25**	0,60**	0,65**
18	19	28	-	-	-	130	100	0,60	0.90	—	0,30**	0,60**	—
23	31	45	-	—	—	130	140	0.20	0.60	—	0,75**	1,00**	—
10	—	—	-	50	—	56	—	- -	0,71	—	—	—	—
17	—	—	- -	92	—	92	—	—	1,00	-	—	—	—
20	—	- -	—	115	—	122	—	—	1,04	-	—	—	-
9	-	- -	—	52	—	60	—	—	1,01	-	—	—	-
20	—	-	—	110	—	120	—	—	0,83	-	—	—	-
26	—	-	—	164	-	144	—	—	0,92	-	- -	—	—
18	—	—	—	59	-	76	—	—	1,00	—	—	—	—
24	—	-	—	75	—	103	—	—	1,02	-	- -	—	—
26	—	-	—	83	-	104	—	—	1,00	—	—	—	—
—	—	- -	14	90	—	—	—	—	—	-	-	—	-
—	—	-	22	110	—	—	—	—	—	-	- -	—	—
—	—	-	25	110	—	—	—	—	—	-	—	—	—
34	34	-	53	138	129	—	—	0,50	0,80	—	0,55***	0,85***	—
36	39	—	63	154	173	-	—	0.57	0,86	—	0,35***	0,58***	—
48	49	—	50	178	176	—	-	0.52	0,75	—	0.40***	0,66***	—
15	—	—	19	87	—	—	—	—	—	—	—	—	—
27	—	—	62	124	—	—	—	- -	—	—	—	—	-
30	—	—	78	156	—	—	—	—	—	—	—	—	—
38	—	—	86	171	—	—	—	—	—	—	—	—	-
—	- -	- -	—	150	—	—	—	0,51	—	—	0,65	—	-
36	—	—	—	145	—	—	—	0.25	0,55	—	—	—	-
42	—	—	—	155	—	—	-	0.20	0,42	—	—	—	—

A mellékelt táblázatban közölt adatok alapján mindenek előtt azt állapíthatjuk meg, hogy bizonyos könnyű adalékanyag fajtákkal még gazdaságos cementadagolás mellett 300-400 kg/cm^2 nyomószilárdságú és 1300-1700 kg/m^3, kiszárított állapotban mért térfogatsúlyú betont lehet készíteni, és e betonok egyéb tulajdonságai is megfelelnek a feszített betonnal szemben támasztott követelményeknek.

Megállapíthatjuk továbbá, hogy a könnyű adalékanyagos beton rugalmassági modulusa mintegy 50 %-a az azonos szilárdságú homokos kavics beton rugalmassági modulusának, zsugorodása és kúszása azonban alig valamivel több, mint a kavicsbetoné.

Vastapadás tekintetében a légpórusképző anyaggal készített könnyűbeton megfelelő, míg légpórusképző nélkül igen kedvezőtlen tapasztalatokat is szereztünk hazai vizsgálataink során.

A mellékelt táblázat adatainak értékelése és az adatokat tartalmazó közlemények tanulmányozása után a könnyűbetonok feszíthetőségére az alábbi megállapításokat tehetjük:

1. Azok a könnyűbetonok, amelyek szilárdsága a feszítés követelményeinek megfelel, egyéb szempontból is megfelelő.
2. A nagyobb szilárdságú könnyűbeton kúszása és zsugorodása a hasonló kavicsbeton hasonló tulajdonságait alig haladja meg. A szobalevegőn, tehát laboratóriumi körülmények között tárolt beton kúszása és zsugorodása többszöröse a szabadban tárolt betonénak. Ha azonban az elem kis keresztmetszetű (7-10 cm vastag), az átlagos relatív nedvességtartalom kevés, az átlagos hőmérséklet pedig magas, akkor a kúszás és a zsugorodás helyszíni értékei megközelíthetik a laboratóriumi körülmények közötti értékeket.

   Olyan szerkezetekben, amelyeknek elemei ki vannak téve az időjárásnak, tehát a csapadéknak is, amelyek keresztmetszete nagy (15 cm vagy vastagabb), ahol a levegő átlagos nedvességtartalma nagy, a tényleges zsugorodás és kúszás a laboratóriumi értékek fele-negyede.

   A kúszás nem áll egyenes arányban a feszültséggel; csekély terhelés mellett a kúszás viszonylag nagy, majd a feszültség növekedéséhez képest a kúszás kisebb mértékben növekszik. A beton szilárdsága 50 %-ának megfelelő feszültségszinten a teljes kúszás csak mintegy 25 %-kal nagyobb, mint a beton szilárdsága 25 %-ának megfelelő feszültségszinten.
3. A könnyűbeton rugalmassági modulusa – megfelelő betonösszetétel és készítési mód mellett – feszítés céljára elegendő lehet. Hosszabb időn át terhelt beton rugalmassági modulusa ugyan csökken, ez a csökkenés azonban az eddigi kísérletek eredményei szerint nem túlzottan nagy és tehermentesítéskor, majd újbóli leterheléskor a rugalmassági modulus ismét számottevően emelkedik.
4. A feszített kavicsbeton szerkezetekben a beton zsugorodása miatti feszültségveszteség kb. 15 %, míg feszített könnyű adalékanyagos betonszerkezetekben az összes feszültségveszteség kb. 25 %-ra tehető, tehát a feszítés nem tekinthető gazdaságtalannak.
5. Az utófeszített szerkezetekben használt vasbetétek kiöntése a beton törőterhelését növeli. Ki nem öntött vasbetétek alkalmazása esetén a törőterhelés kisebb és közelebb van a repesztő terheléshez.
6. Hazai vizsgálataink során kidolgoztuk a könnyű adalékanyagos beton készítésének a technológiáját s megállapítottuk a nagyobb szilárdságú könnyűbeton készítésének a feltételeit. Alapfeltételek:
   - elegendő önszilárdságú könnyű adalékanyag (szétmorzsolódási tényező ≤ 0,7) [22];
   - megfelelő szemszerkezet (D_{max} = 15 mm esetén legalább 20 súly% 0-1 mm-es adalékanyag);
   - elegendő cementtartalom (min. 300 kg/m^3 500-as portlandcement);
   - keverés kényszerkeverőgépben;
   - erőteljes tömörítés és
   - elegendő ideig végzett utókezelés,

   Nagyobb halmaztérfogatsúlyú duzzasztott agyagkavicsból és porszénhamu kavicsból a fenti feltételek betartása mellett legalább 280 kg/cm^2, kohóhabsalakból kb. 200 kg/cm^2 kockaszilárdságú beton készíthető.
7. Hazai kutatási eredmények hiányában a beton feszítés szempontjából legfontosabb tulajdonságait, elsősorban kúszását tekintve csak külföldi adatokra tudunk támaszkodni. A külföldi közlemények szerint azonban még nincs egyértelműen tisztázva az adalékanyag fajtájának, a vízadagolásnak, a cementtartalomnak és a feszítési kornak a hatása a beton nevezett tulajdonságaira.

Fentiek miatt hazai viszonyok között a könnyűbeton előfeszítése még nem javasolható, utófeszített könnyűbeton szerkezetek készítése azonban legalább BK 280 minőségű könnyűbetonból sikerrel kecsegtet. Feszített könnyűbeton szerkezet készítése tehát nem kilátástalan, de bevezetéséig még sok a tennivaló. Az ÉTI a szükséges laboratóriumi kutató munkát már megkezdte.

IRODALOM

(1) *Gáspár G.:* A beton (Böröcz I.: Feszített betonszerkezetek). Közlekedési Kiadó. Bp. 1952.
(2) *Újhelyi J.:* A könnyűbeton adalékanyagok és könnyűbetonok. Mérnöktovábbképző Int. Bp. 1960.
(3) *Palotás L.:* A beton (Mérnöki Kézikönyv). Műszaki Kiadó. Bp. 1955.
(4) *O. Graf:* Die Eigenschaften des Betons. (Berlin 1950.)
(5) *A. Hummel:* Vom Schwinden zementgebundener Massen, seiner Messung und seinen Auswirkungen. Betonstein Zeitung 1955. 6.
(6) *R. L'Hermite—J. Grieu:* Sur le retrait des Ciments et des Betons. Annales de l'I. T. B. et T. P.
(7) *T. C. Powers—T. L. Brownyard:* Studies of the physical properties of hardened p. c. paste. Journal of the A. C. I. 1946. okt. 1947. ápr.
(8) *E. Torroja—J. Paez:* Set concrete and reinforced concrete. Building Materials. Amsterdam 1954.
(9) *A. Guttmann:* Zur Bemerkung von Schwindzahlen. Zement. 1950. 8—9.
(10) *dr. ing. E. V. Meyer—K. E. C. Nielsen:* Neue Erkentnisse über das Schwinden des Betons. Betonstein Zeitung 1958. 3.
(11) *G. Rothfuchs:* Über die Schwindung von Leichtbetonsteinen. Betonstein Zeitung. 1953. 1.
(12) *Újhelyi J.:* A tufa építőipari felhasználása. Építőanyag. 1957. 6.
(13) *Hoyer:* Stahlsaitenbeton. I. Berlin. 1939.
(14) *T. R. Jones—H. K. Stephenson:* Proceedings World Conference on Prestressed Concrete. Lightweight Aggregate Concrete. San Francisco 1957.
(15) *R. W. Kluge—M. M. Sparks—E. C. Tuma:* Lightweight Aggregate Concrete. Journal of the A. C. I. 1949 május.
(16) *R. W. Kluge:* Lightweight Aggregate Concrete. Journal of the A. C. I. 1956. okt.
(17) *J. J. Shideler:* Lightweight Aggregate Concrete. Journal of the A. C. I. 1957. okt.
(18) *G. H. Nelson—O. C. Frei:* Lightweight Structural Concrete Proportioning and Control. Journal of the A. C. I. 1958. jan.
(19) *F. E. Koebel:* Lightweight Prestessed Concrete. Journal of the A. C. I. 1954. márc.
(20) *Újhelyi J.:* Mesterséges adalékanyagok felhasználásával készülő könnyűbetonok technológiájának kidolgozása. ÉTI 6. sz. Jelentés Bp. 1959.
(21) *Újhelyi J.:* Pernyekavicsbeton készítési technológiájának kutatása. ÉTI Jelentés 1960. jan. Kézirat.
(22) *Újhelyi J.:* A kohóhabsalak halmaztérfogatsúlyának és ömszilárdságának összefüggéséről. Építőanyag. 1960. 3.

Építőanyag, 1962.2. pp. 97-101

Jelen számunk az Építéstudományi Intézet Szerkezeti Anyagok osztályának munkáját ismerteti. Indokolttá teszi ezt az a változás, amelyet a hazai építő- és építőanyagipar beton- és habarcsmunkáinak nagymértékű mennyiségi és minőségi fejlődése, az új építési módok bevezetése és a korszerű technológiai módszerek kialakítása eredményezett.

A porózus adalékanyagú könnyűbeton összetételének tervezése

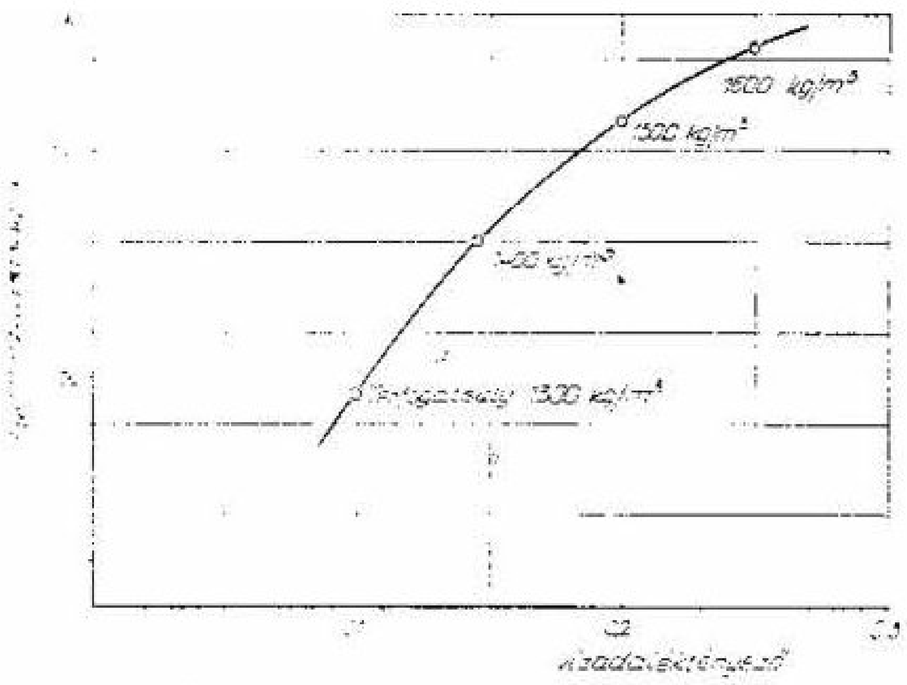
Ujhelyi János

1. Bevezetés

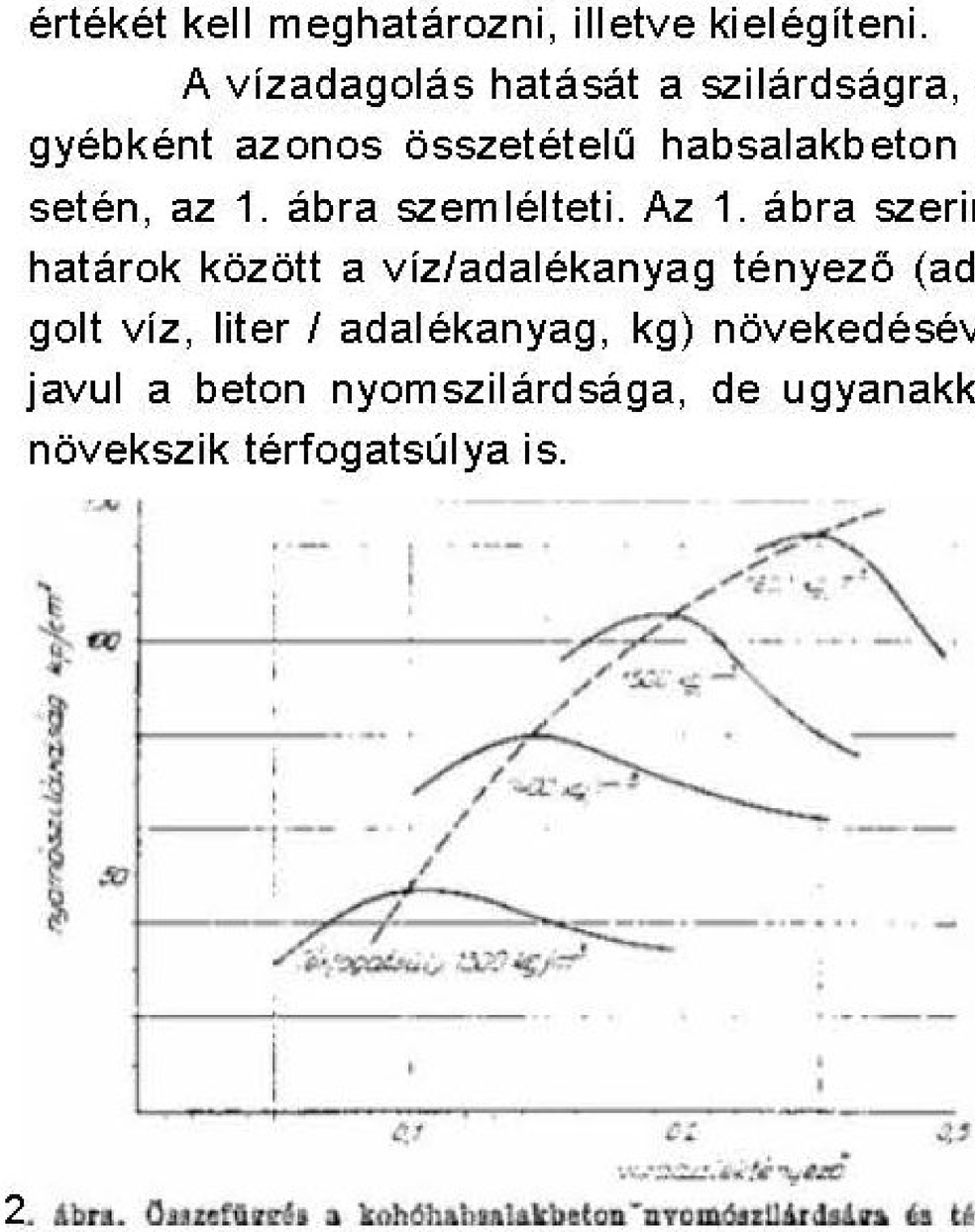
A kavicsbeton szilárdságának előbecslésére, azaz a kavicsbeton tervezésére vonatkozó eljárások kezdettől fogva a víz/cement tényező értékéből indultak ki, hiszen köztudomású, hogy a gyakorlati határok között a kavicsbeton szilárdságát elsősorban a cementre jutó vízmennyiség határozza meg. Ahhoz, hogy ez a törvényszerűség érvényesüljön, olyan adalékanyagot – kvarckavicsot – kell felhasználni, amelynek szilárdsága a cementkő szilárdságának a többszöröse, és amelynek vízfelvétele elhanyagolható (az abszorpció általában 1 súly%-nál kisebb). Ez esetben ugyanis a beton szilárdságát elsősorban a cementkő, illetve cementhabarcs szilárdsága szabja meg, másrészt a víz/cement tényező a cementre ténylegesen jutó vízmennyiséget fejezi ki.

Ezek a feltételek porózus adalékanyagú könnyűbeton készítésekor nem elégíthetők ki, hiszen az adalékanyag önszilárdsága általában csak hányada a cementhabarcs szilárdságának, s vízfelvétele is tetemes, ezért a cementre jutó tényleges vízmennyiség legfeljebb csak becsülhető. Ennek következtében a víz/cement tényező a szilárdság előbecslésére nem alkalmazható. További eltérést okoz az is, hogy a könnyűbeton lehetőleg nagy szilárdságán a kívül lehetőleg kis térfogatsúlya is előírt, így a céltudatos tervezés során e két ellentétes tulajdonságnak az értékét kell meghatározni, illetve kielégíteni.

A vízadagolás hatását a szilárdságra, egyébként azonos összetételű habsalakbeton esetén, az 1. ábra szemlélteti. Az 1. ábra szerinti határok között a víz/adalékanyag tényező (adagolt víz, liter / adalékanyag, kg) növekedésével javul a beton nyomszilárdsága, de ugyanakkor növekszik térfogatsúlya is.



1. ábra: Összefüggés a habsalakbeton nyomószilárdsága és víz/adalékanyag tényezője között



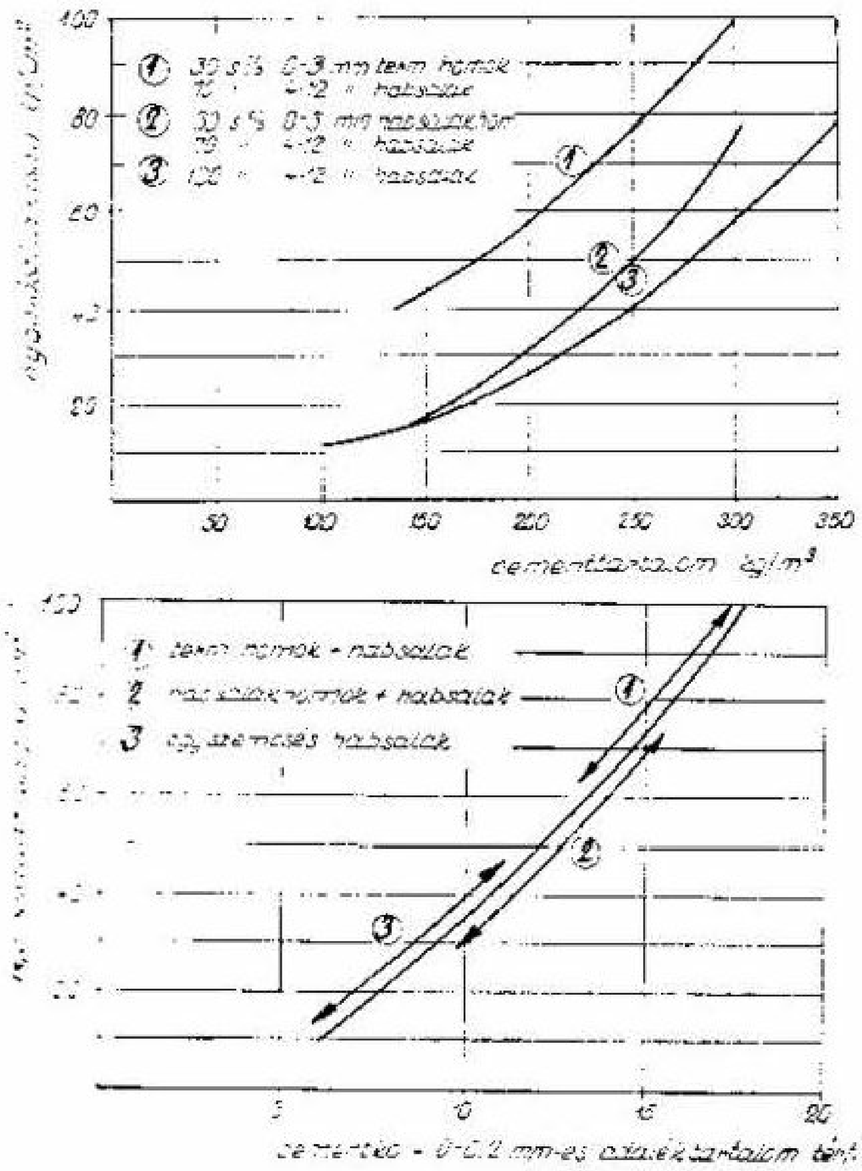
2. ábra. Összefüzés a kohóhabsalakbeton nyomószilárdsága és térfogatsúlya, valamint a víz/adalékanyag tényező között

Ha a szilárdságon kívül a térfogatsúly alakulását is vizsgáljuk, akkor a 2.ábra szerinti összefüggéseket nyerjük. A 2.ábrából kitűnik, hogy egyrészt mennél kisebb a beton előírt tér-fogatsúlya, annál kevésbé változik a szilárdsá-ga a vízadagolás változásával, másrészt a tér-fogatsúly növekedésével az optimális víz/ada-lékanyag tényező értéke is nagyobb [1].

Az 1. és 2. ábra összefüggései is bizonyítják, hogy a könnyűbeton tervezésére a kavicsbetonétól eltérő módszereket kell alkalmazni.

2. Külföldi módszerek a porózus adalékanyagú beton tervezésére

Német kutatók a beton pórustartalmának, mint elsőrendű meghatározónak a szerepét emelik ki, és tervezési eljárásaikat is erre a tényezőre építik. A gyakorlatban azonban ezek a módszerek csak egy-egy betonfajta szilárdságának az előbecslésére alkalmasak, és csak igen szűk határok között. Így felhasználásuk nem terjedhetett el.



3. ábra: A habsalakbeton nyomószilárdságának alakulása K. H. Wesche szerint [2]

K. H. Wesche [2] habsalak vizsgálata során természetes homokkal, habsalak homokkal és egyszemcsés habsalakkal készített betontestek szilárdságát állapította meg. Ha az így készített betonok szilárdságát a cementtartalom függvényében ábrázolta, akkor nagyon eltérő összefüggésekhez jutott: ha azonban a cementhabarcs tartalom (cementkő és a 0-0,2 mm-es adalékanyag) és a szilárdság függvényében, akkor az összefüggések egyértelművé váltak (3.ábra). *Wesche* véleménye szerint ezek az összefüggések más könynyűadalékanyag fajtákra is általánosíthatók. Az ÉTI vizsgálatai szerint azonban ez az összefüggés csak azonos önszilárdságú adalékanyaggal készített, azonosan tömörített betonok esetén érvényes, mert a cementkő és a 0-0,2 mm-es adalékanyag tartalom a tömörítési munka növekedésével csak jelentéktelenül, a nyomószilárdság viszont nagyon jelentősen növekszik.

G. Rothfuchs betontervezési eljárása azon alapszik [3], hogy a beton szilárdsága kizárólag a cement/pórus viszonytól függ, amelyet az alábbi képlettel lehet kiszámítani:

$$c/p = \frac{cementsúly, kg/m^3}{pórustartalom, lit/m^3}$$

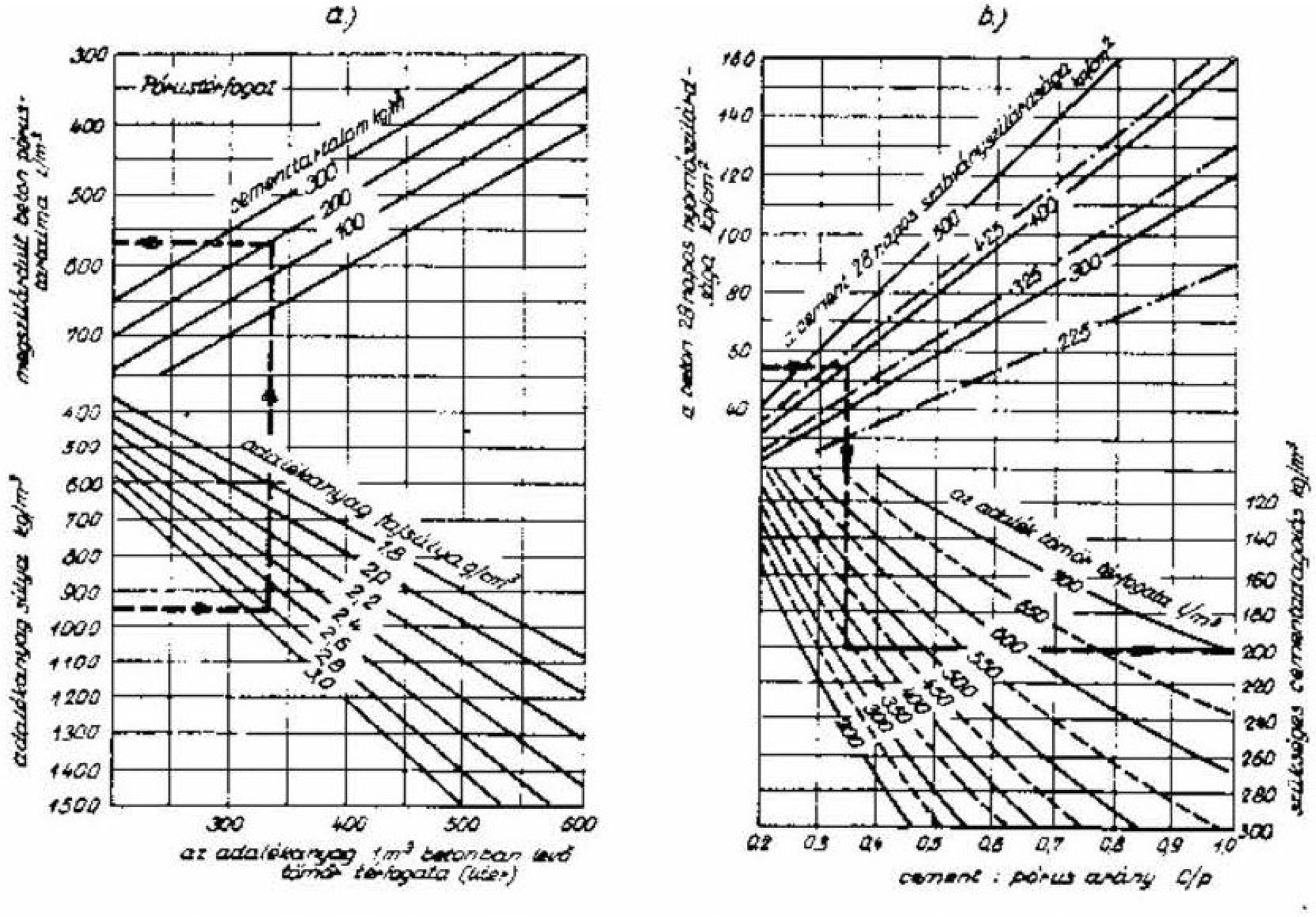
A c/p érték 1 m^3 térfogatú szilárd betonra vonatkozik. A tervezéshez ismernünk kell az 1 m^3 betonban lévő adalékanyag mennyiségét kg/m^3-ben kifejezve, valamint a felhasználandó anyag fajsúlyát. Első közelítésben az 1 m^3 betonban lévő adalékanyag mennyiségét az adalékanyag-keverék litersúlyából számíthatjuk ki. A 4. ábra a) nomogramjának abszcisszáján állapíthatjuk meg az 1 m^3 betonban lévő adalékanyag tömör térfogatát.

A beton megkívánt 28 napos nyomószilárdsága és a rendelkezésre áll, vagy előírt cementminőség alapján a szükséges cementtartalmat kg/m^3-ben a b) nomogram segítségével határozhatjuk meg. Az adatokat a nyíl irányában és sorrendjében olvassuk le. Megkeressük a megkívánt 28 napos nyomószilárdságot a bal felső ordinátán, ezt vízszintesen rávetítjük a cement szabványszilárdságát jellemző görbeseregre. E pontból kell függőlegest bocsátani a diagram alsó részén az 1 m^3 betonban lévő adalékanyag tömör térfogatát jellemző görbére, majd e pont vízszintesében olvassuk le a szükséges cementmennyiséget kg/m^3-ben. A cementtartalom ismeretében az a) nomogram felső részén a megszilárdult beton pórustartalma is leolvasható.

Mivel a könnyűbeton szilárdsága elsősorban az adalékanyag önszilárdságával, halmaztérfogatsúlyával és felületi tulajdonságaival függ össze, ezenkívül függ még a cementtartalomtól, a szemszerkezettől és a tömörítéstől, s mivel ezek a tényezők a cement/pórus viszonyt nem egyértelműen befolyásolják, ezért *G. Rothfuchs* tervezési eljárása véleményünk szerint csak szűk határok között és egyes anyagfajtákra lehet alkalmazni. A tervezési eljárást

valószínűleg téglatörmelékkel készített könnyűbetonok vizsgálatára alapozta, így feltehetően erre az adalékanyag fajtára használható fel.

A beton szilárdságának az előbecslésére megfelelőbb a *K. Weirich* [4] által ismertetett



4. ábra: Könnyűbeton szilárdságának előbecslése G. Rothfuchs eljárásával [3]

eljárás, amely szerint a porózus adalékanyagú beton szilárdságát elsősorban a megszilárdult habarcsváz szilárdsága, az adalékanyag felületi tulajdonságai és a beton pórustartalma szabja meg. Matematikailag ezeket a hatásokat az alábbi képlettel lehet kifejezni:

$$\sigma = \sigma_H \times d_H \times f_K$$

ahol σ = a beton 28 napos nyomószilárdsága, kp/cm^2,

σ_H = a tömör habarcs (pórustartalom 0 %) nyomószilárdsága, kp/cm^2,

d_H = az 1 m^3 betonban lévő cement, adalékanyag és víz tömör térfogata, m^3,

f_K = a szemcsealak és a szemcsefelület hatását jellemző tényező.

Az f_K értékének közelebbi meghatározásához fel lehet tételezni, hogy a szemcsealak, szemcsefelület, pórusfajta és póruseloszlás összetett hatásának jellemzésére alkalmas a következő függvény:

$$f_k = d_K^n$$

ahol d_K = a beton tömörsége,

n = a szemcsetulajdonságoktól függő kitevő.

A fentiek alapján az adalékanyag tulajdonságok hatását a beton nyomószilárdságára

$$\sigma = \sigma_H \times d^n{}_H$$

képletből kísérleti úton meghatározható n értékkel lehet kifejezni. *Weirich* azt találta, hogy ez az érték változó betonösszetétel mellett is állandó marad és a habsalakra $n = 5{,}0$, horzsakőre $n = 3{,}0$, agyag-kavicsra $n = 2{,}5$ és lávasalakra $n = 3{,}5$.

Weirich eljárásában tehát kellő súllyal szerepet kapnak a habarcsváz önszilárdsága és az adalékanyag felületi tulajdonságai, viszont csak közvetve érvényesül az adalékanyag önszilárdsága. Emiatt az alapjaiban elvileg feltétlenül helyes módszer gyakorlati alkalmazhatósága kétséges.

Meg lehet még említeni *E. Vocke* [5] túlságosan leegyszerűsített módszerét is, aki a szilárdság előbecslésében abból indult ki, hogy a beton szilárdsága elsősorban száraz térfogatsúlyától függ, így csak a szilárdság-térfogatsúly összefüggését jellemző görbét kell meghatározni, melynek egyes szakaszai egyenesekkel helyettesíthetők. Ezeknek az egyeneseknek az egyenletei:

$$\sigma_{20\text{-}50} = (1/4) \times (\gamma_K - \gamma_{K20}) \times tg\alpha + 20$$

$$\sigma_{50\text{-}80} = (1/4) \times (\gamma_K - \gamma_{K50}) \times tg\alpha + 50$$

ahol $\sigma_{20\text{-}50}$ = a 20-50 kp/cm^2 szilárdság között elérni kívánt betonszilárdság,

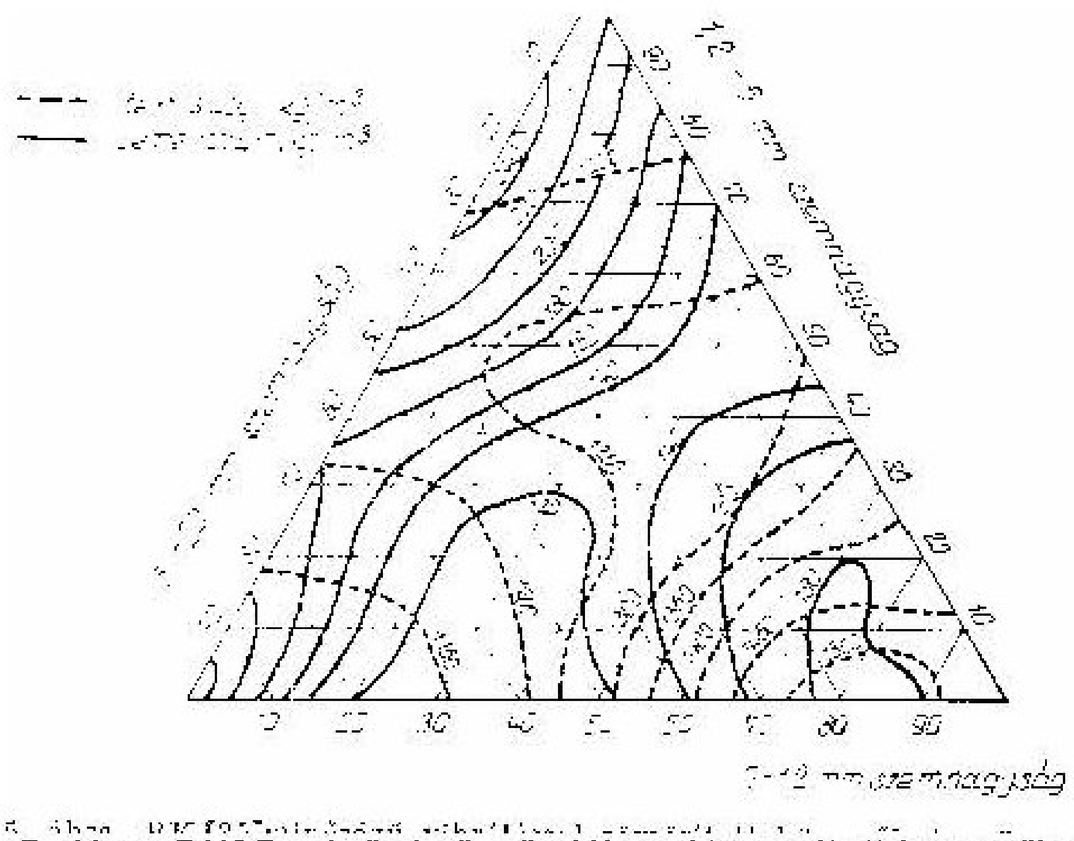
$\sigma_{50\text{-}80}$ = az 50-80 kp/cm^2 szilárdság között elérni kívánt betonszilárdság,

γ_K = a megkívánt szilárdsághoz tartozó térfogatsúly, kg/m^3,

γ_{K20} illetve γ_{K50} = a 20, illetve 50 kp/cm^2 szilárdsághoz tartozó térfogatsúly, kg/m^3,

$tg\alpha$ = a görbementi összefüggést helyettesítő egyenes dőlésszöge az adott szakaszban.

Vocke eljárásában megtalálható a szilárdság mellett a betontérfogatsúly szerepe is. A betonszilárdság és a térfogatsúly szoros összefüggésének a feltételezése azonban, mint ahogy azt már több ízben kimutattuk [6], helytelen, még azonos adalékanyag esetén is. Ezért a képlet alkalmazásával kapott eredmények a ténylegestől 100 %-kal is eltérhetnek.



5. ábra: BK35 minőségű, vibrálással tömörített könnyűbeton összetétele szovjet kutatási eredmények alapján [7]

Szovjet kutatók [7] a beton összetétel meghatározására háromszög diagramokat készítettek egy-egy betonszilárdsági osztályra és adalékanyagra. Példaképen az 5.ábrán megadjuk a BK35 minőségű habsalak, keramzit és agloporit betonokra érvényes tervezési diagramot, amelyből az adalékanyag szemszerkezetétől (0,12-1,2 mm, 1,2-5 mm és 5-20 mm) függő cementadagolás (folytonos vonal) és térfogatsúly (szaggatott vonal) állapítható meg. Az adalékanyag szemszerkezetének a meghatározásakor a diagramnak azt a pontját kell kiválasztani, amellyel a legkisebb cementadagolással a legkönnyebb beton készíthető.

Japán kutatások eredményei arra vezettek, hogy Leca-beton esetén a cementminőségen és a vízmennyiségen kívül a levegőtérfogat alakulása játszik döntő szerepet a könnyűbeton szilárdságának az alakulásában. *Kazuhisa Shirayama* [8] vizsgálata szerint a beton szilárdsága az alábbi képletből számítható:

$$F = K\left(\frac{a}{b^{\alpha}}\right) = K\left(\frac{A}{B^{x}}\right)$$

ahol F = a beton nyomószilárdsága, lb/in^2

K = a cement szabványszilárdsága, lb/in^2

A, B, α, b = a felhasznált cementből készített betonok vizsgálatából nyert állandók

$1/\alpha$ = a cementtartalom (C lb/yd^3), a friss beton levegőtérfogata (V_a %), a finom adalékanyag (φ_s) és a durva adalékanyag (φ_g) pórustartalma (1/100 %), a finom adalékanyagnak (A_s) és a durva adalékanyagnak (A_g) a friss beton térfogatához viszonyított üregtérfogata (lb^3/yd^3) alapján kiszámított alábbi érték:

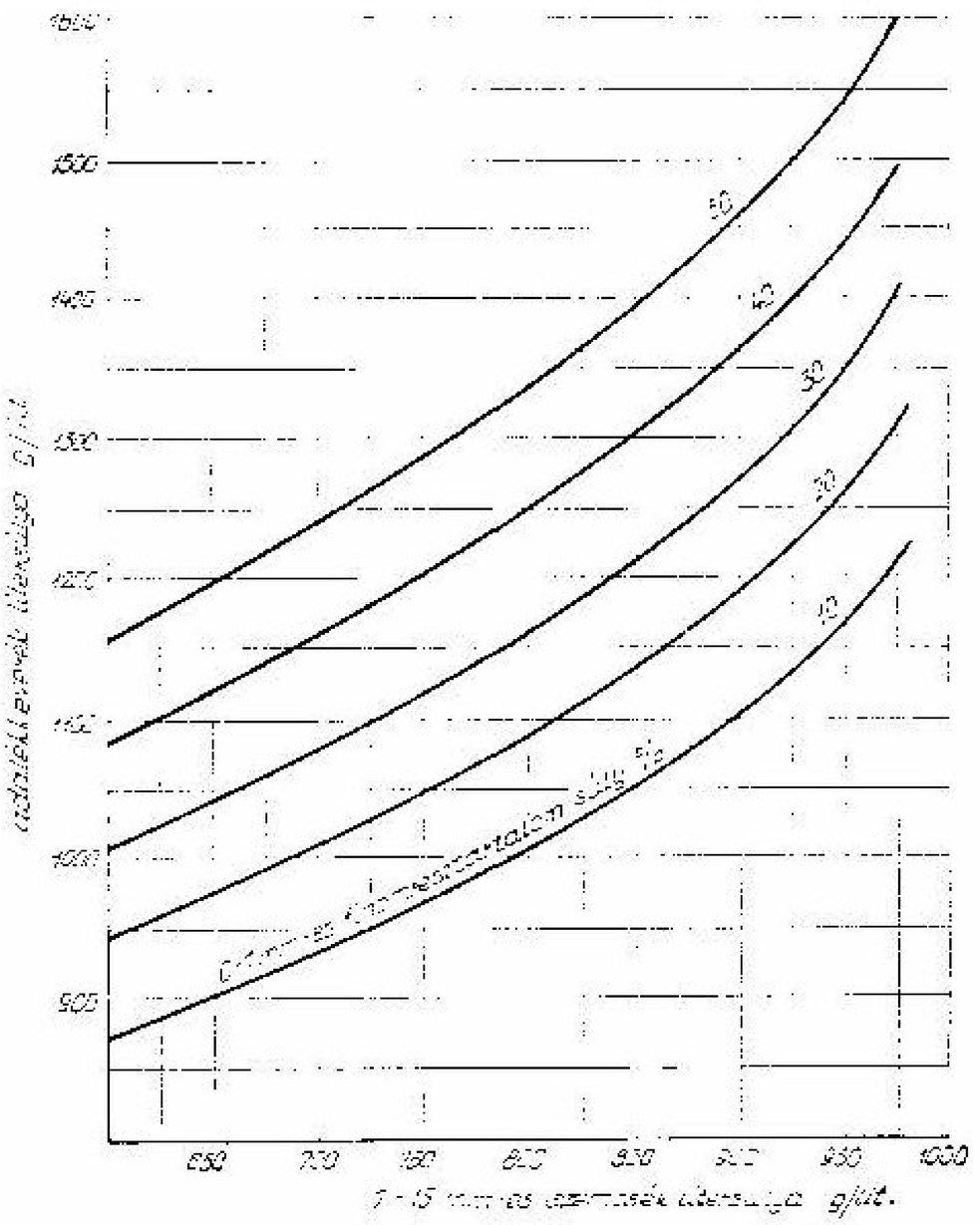
$$\frac{1}{\alpha} = \frac{C}{W + 16{,}85\left[V_a + \frac{100\left(\varphi_s A_s + \varphi_g A_g\right)}{27}\right]}$$ illetve

$$\frac{1}{x}=\frac{C}{W+1{,}685\dfrac{\varphi_s A_s+\varphi_g A_g}{27}}$$

Ez az eljárás lényegében közös nevezőre kívánja hozni a kavicsbeton tervezését a könnyűbetonéval, hiszen $V_a=0$ és $\varphi=0$ esetén az α egyenlő a víz/cement tényezővel. Itt ismét arra kell rámutatni, hogy a vízmennyiség hatása adalékanyagonként más és más, valamint arra, hogy a vízmennyiség növelése a beton szilárdságát az 1. ábra szerint – bedolgozhatóságának a javítása révén – nagymértékben növeli. Meg kell említeni azt is, hogy a térfogatsúly mértékéről a tervezési eljárás alapján nem lehet adatot nyerni.

3. Hazai módszerek a porózus adalékanyagú beton összetételének a tervezésére

Habsalakbetonokkal végzett kísérleteink vizsgálati eredményeit nomogramokban feldolgozva alkalmas módszert nyertünk a habsalakbetonok összetételének a tervezésére, illetve a szilárdság előbecslésére [9]. A tervezési módszer az alapanyagok, valamint a friss és a megkevert, illetve a friss és betömörített beton halmaztérfogatsúlyának, illetve térfogatsúlyának meghatározásán alapul.



6. ábra: Az adalékanyag keverék litersúlya a halmaztérfogatsúlytól és a szemszerkezettől függően

Első lépésként meg kell határozni az adalékanyag keverék laza halmaztérfogatsúlyát az adalékanyag 7-15 mm-es szemcséinek a halmaztérfogatsúlyától – amely az önszilárdsággal szoros korrelációban van [10] – és a szemszerkezetétől függően. A szemszerkezetet a 0-1 mm-es finomrészek mennyiségével, mint a legfontosabb szemcsecsoporttal jellemezzük. Az adatok a 6. ábrán láthatók.

Második lépésben az adott halmaztérfogatsúlyú adalékanyag keverékhez adagolt különböző mennyiségű cementtel és a félplasztikus konzisztenciához szükséges mennyiségű vízzel készített betonkeverék laza halmaztérfogatsúlyát kell megmérni. A laboratóriumi vizsgálat eredményeit a 7. ábrán tüntettük fel.

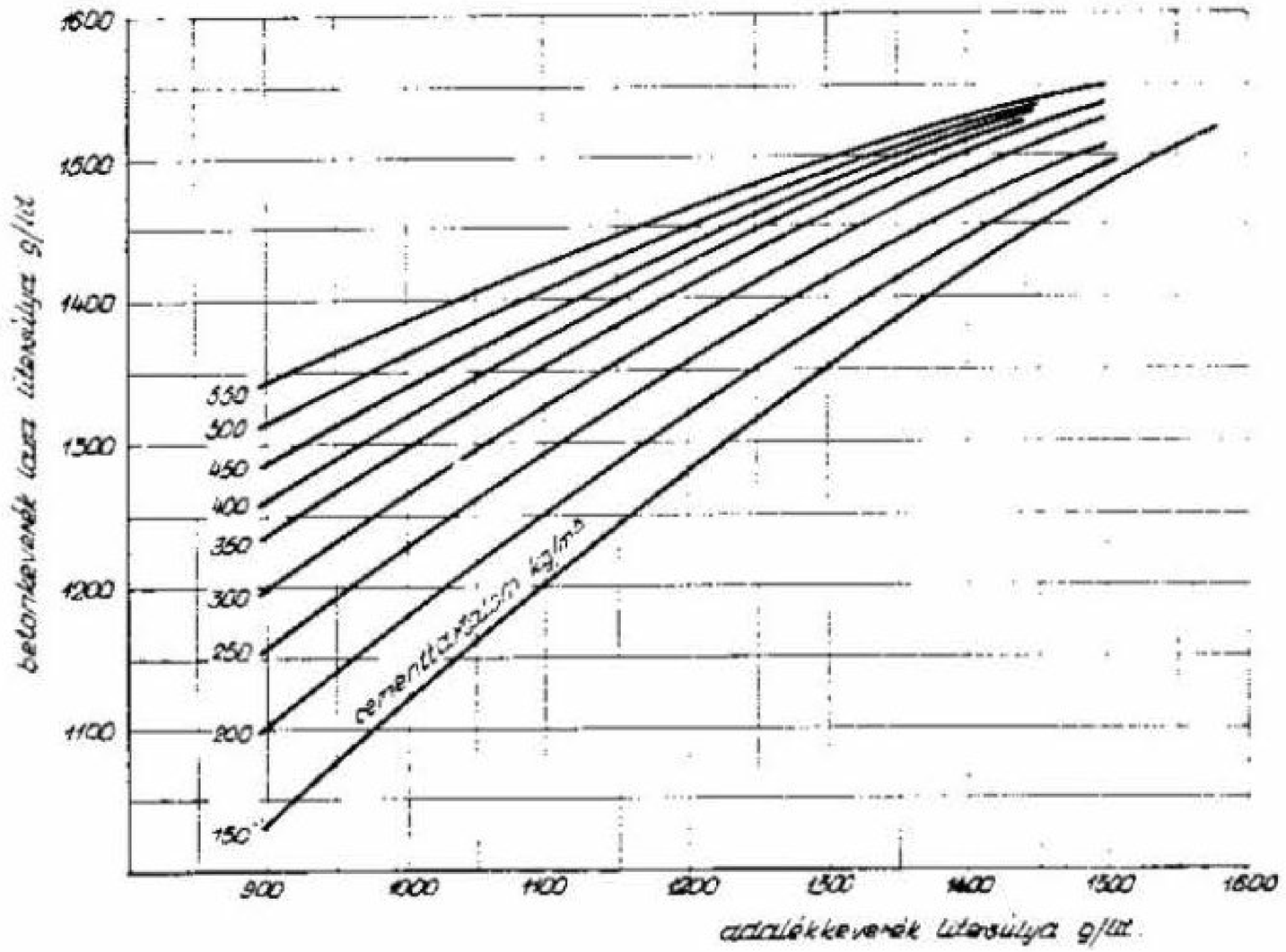
Harmadik lépésben az adott halmaztérfogatsúlyú betonkeveréket kell bedolgozni, és az elért készítési térfogatsúlyt kell meghatározni. A beton szilárdsága ezután a laza betonkeverék halmaztérfogatsúlyából (γ_h) és a betömörített friss beton készítési térfogatsúlyából (γ_t) számítható *T* tömörítési foknak

$$T=\frac{\gamma_t-\gamma_h}{\gamma_h}100$$

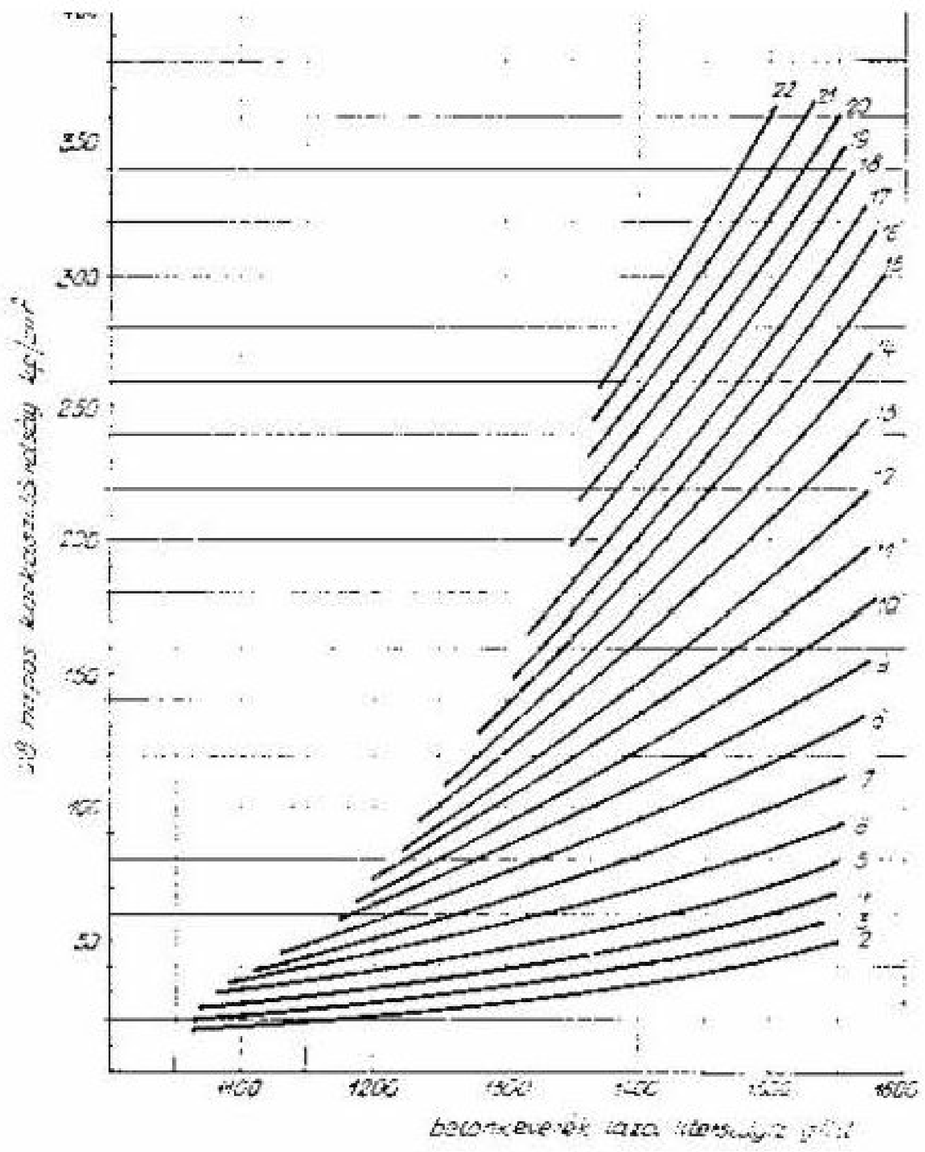
illetve a *T* tömörítési foknak és a *C* cementtartalomnak szorzatából számítható *B* bedolgozási modulusnak

$$B = C \times T$$

függvényében állapítható meg. A 8. ábrán a betonkeverék laza halmaztérfogatsúlyának és a nyomószilárdságának a viszonya látható a *B* bedolgozási modulus függvényében. Hasonló elvek szerint építhető fel más porózus adalékanyaggal készített beton összetételének a tervezési nomogramja is, amelyből a megkövetelt szilárdságot és térfogatsúlyt elérő betonkeverékek összetétele meghatározható.



7. ábra: A betonkeverék litersúlya a cementadagolástól és az adalékanyag keverék litersúlyától függően



8. ábra: A beton nyomószilárdsága a laza betonkeverék litersúlyától és a bedolgozási modulustól függően

Ezeknek a nomogramoknak a hátránya, hogy adalékanyagonként más és más összefüggéseket kell kidolgozni, ehhez azonban hosszadalmas laboratóriumi kísérletekre, nagyszámú próbatestre van szükség. Eddigi kísérleteink alapján azonban meg lehetett állapítani, hogy a porózus adalékanyagú beton szilárdságát elsősorban a cement és a 0-1 mm-es adalékanyag szemekből álló cementhabarcs σ_h szilárdsága [2], az adalékanyag σ_A önszilárdsága [6], a cementhabarcs V_H és a durva adalékanyag V_A térfogatának a viszonya [1], a beton X pórustartalma [3], valamint az adalékanyag n felületi tulajdonságai [4] határozzák meg. Ezekben a tényezőkben minden, a beton összetételére és a készítés módjára jellemző adat megtalálható, mert

- a cementtartalomra a σ_H és a V_H értékei,
- a szemszerkezetre a $V_h : V_A$ viszony,
- az adalékanyag önszilárdságára σ_A adat,
- a tömörítés mértékére az X pórustartalom jellemző. Elméletileg is alátámasztható [1], hogy a cementhabarcs és durva adalékanyag ideális együttdolgozása esetén a beton σ_B szilárdsága

$$\sigma_B = \frac{\sigma_H . V_H + \sigma_A . V_A}{V_H + V_A}$$

képlettel fejezhető ki. Mivel azonban a beton pórustartalma és az adalékanyag felületi tulajdonságai az ideális feltételek kialakulását megakadályozzák, ezért a beton szilárdságát a pórustartalom és az adalékanyag felületi tulajdonságai az alábbi képlet szerint módosíthatják:

$$\sigma_B = \frac{\sigma_H . V_H + \sigma_A . V_A}{V_H + V_A} \left(\frac{1}{X} \right)^n$$

A porózus adalékanyaggal készített betonok további hazai vizsgálatai során ennek az összefüggésnek a kísérleti bizonyítását kívánjuk megadni.

Összefoglalás

A közölt tervezési eljárások egymástól eltérő volta bizonyítja, hogy a porózus adalékanyagú betonok készítéséhez még nem állnak rendelkezésre azok az egyértelmű összefüggések, amelyek segítségével a kavicsbetonhoz hasonló tervezési eljárások kidolgozhatók. A két betonfajta között az a leglényegesebb különbség, hogy a könnyűbetonra nem érvényes a víz/cement tényező szabályozó hatása és az adalékanyag optimális finomsági modulusa is adalékanyag fajtánként változó. A hazai kísérletek eddigi eredményei alapján kidolgozott eljárás továbbfejlesztése lehetőséget nyújthat a könnyűbeton tervezésére.

Irodalom

(1) *Ujhelyi János:* A könnyűadalékos beton fajtái. összetételének tervezése és a beton készítése. Mérnöki Továbbképző Intézet Bp. 1960. 3797 sz.

(2) *Dr. ing. Weschе, K. H.:* Beton aus porigen Stoffen. Betonstein Ztg. 1958. 3. 61–69.

(3) *Rothfuchs, C.:* Betonfibel. Berlin. 1958. VEB Verlag.

(4) *Weirich, K.:* Über die Druckfestigkeit von Leichtkornbeton mit dichtem Gefüge. Betonherstellung, Verwendung 1960. aug. 375–378. lap.

(5) *Dr. ing. Vocke, E.:* Kleine Leichtbetonkunde für die Praxis. Betonstein Ztg. 1958. 9., 10., 11. és 12. szám.

(6) *Ujhelyi János:* Mesterséges adalékanyagok felhasználásával készülő könnyűbetonok technológiájának kidolgozása. ÉTI 6. sz. Jelenés. Bp. 1959.

(7) *Popov, N. A.—Elinzon, M. R.—Szpirák, N. J A.—Stein, J A. S.—Jeudokimov, A. A.:* Nyekotorüe oszobennosztyi podbora szoosztava i prigotovlenyija legkogo betona na iszkusztvennüh porisztih zapolnyitelјah. Moszkva. 1959.

(8) *Kazuhisa Shirayama:* The estimation of the strengh of concrete made with lightweight aggregate. Magazin of Concrete Research 1961. Volume 13. Number 28.

(9) *Ujhelyi János:* Kohóhabsalakbetonok. Építőanyag 1959. 12.

10) *Ujhelyi János:* A kohóhabsalak lbecsülyának és önszilárdságának összefüggéséről. Építőanyag. 1960. 3.

Magyar Építőipar, 1974. 12. pp. 724-728.

Új eredmények és törekvések a betontechnológiában*

Dr. Ujhelyi János

1. Bevezetés

A civilizáció mai fejlődésével együtt jár – azonosan a régi korokkal és kultúrákkal – , hogy növekszik a lakóhelyiségek, ipari és közösségi épületek alapterülete, mind a magas-, mind a mélyépítésben növekszik a tartószerkezetek fesztávolsága. A ma építészetének legsematikusabbnak tűnő tevékenységében is, az előregyártott elemekből szerelt lakóházakban fokozatosan nagyobb és nagyobb egységes terek kialakítására törekszik a tervező, hogy utólag szabadon, kötetlenül alakíthassa ki a nagy belső tér felosztását kisebb terekre, lehetőleg rugalmasan változtatható alaprajzzal. S bármennyi nehézséget lát a technológus a nagyfesztávú szerkezetek előállításában, az építész vagy a mérnök igényeit nem nézheti közömbösen, lehetőségeihez mérten törekednie kell ezeknek az igényeknek a kielégítésére.

A közösségi épületek: színházak, iskolák, sportcsarnokok, áruházak, valamint a speciális közlekedési létesítmények: pályaudvarok, repülőtéri hangárok, egyterű épületet követelnek, pl. a Boeing 747 gépek hangárai kb. 10000 m^2 alapterületűek. Úgy tűnik, hogy a valamennyire is civilizált országokban minden keskenyebb folyóra épült már híd s most tengerszorosok partjainak az összekötésén van sor. Nő tehát a hídszerkezetek fesztávolsága is.

Ahogy növekednek azonban a méretek, úgy növekszik a tartószerkezetek súlya. A 100 m nyílásköz áthidalására alkalmas feszített vasbeton szerkezetben a teljes terhelés 80 %-a az önsúly és csak 20 % a hasznos teher. Márpedig a vasbetonszerkezetek jövője a kor egyre növekvő méretigényeit tekintve csak akkor lesz ígéretes, ha csökkenteni lehet önsúlyukat. Ennek a lehetőségei a következők:

a) Pontosabbá kell tenni az erőtani méretezést, hogy változatlan biztonság mellett a szerkezetek tényleges igénybevételét, illetve tulajdonságait jobban megközelítő módszerek álljanak a statikus tervezők rendelkezésére.
b) Növelni kell a beton szilárdságát, hogy a szerkezetek keresztmetszetének, illetve térfogatának csökkentésével lehessen az önsúlyban megtakarítást elérni.
c) Változatlan betonszilárdság mellett csökkenteni kell a beton testsűrűségét, azaz változatlan keresztmetszet mellett kell csökkenteni a szerkezet önsúlyát.

Ezek azok a törekvések, amelyek megoldására az építőipari kutatás jelentős energiát fektet be.

A méretezés problémáival ez a tanulmány nem foglalkozik, de meg kell jegyezni, hogy a határteherbíráson alapuló tervezés, illetve az ezzel jelentősen összefüggő, valószínűségi alapon kialakított igénybevétel meghatározási mód olyan teóriáknak az átültetését jelenti a gyakorlatba, amelyeknek a vasbeton szerkezetek jövője szempontjából rendkívül nagy a jelentősége [1].

A tanulmány elsősorban betontechnológiai kérdésekkel foglalkozik. Így a beton szilárdságának növelésére irányuló fizikokémiai és mechanikai eljárásokkal, valamint ezek jelenlegi korlátaival, érinti a beton tömörségének a jelentőségét, és végül néhány gondolatot ismertet a könnyűbetonok alkalmazásáról külföldön és hazánkban.

2. Eredmények a beton szilárdságának és tartósságának a fokozásában

A beton szilárdságát fizikokémiai és mechanikai folyamatok alakítják ki. A fizikokémiai folyamatok a cement hidratációjával, ennek gyorsításával, növelésével kapcsolatosak, mechanikai

---

* Az Építőipari Tudományos Egyesület Előregyártási Szakosztály 1974. május 23.-i rendezvényén elhangzott előadás

folyamatok alatt viszont mindazt a tényked ést értjük, amit az adagolás, a keverés, a szállítás, a bedolgozás és az utókezelés műveletei során végeznünk kell.

A legutóbbi időkig elért eredményes fejlesztési tevékenység és ipari alkalmazás tapasztalataiból most csak három témakört érintek. Ezek:

- a beton szilárdságának és tartósságának fokozása kémiai kiegészítő anyagokkal,
- a beton összetételének szerepe a szilárdság alakulásában,
- a beton tömörítésével elérhető eredmények.

2.1. Kémiai betonjavító vegyszerek

A beton javító, vagy más néven kiegészítő anyagai vegyipari készítmények, amelyek az egyébként is megfelelő összetételű betonkeverékhez adagolva annak valamilyen tulajdonságát előnyösen megváltoztatják, de az eleve rossz minőségű betonkeveréket nem javítják meg. Első alkalmazásuk már 100 éves (kalciumklorid), de csak a második világháború után kerültek nagy tömegben kereskedelmi forgalomba. A legfontosabb anyagok a konzisztencia javítók, az injektálás javítók, és a vízkiválás csökkentők – ezek a betonkeverék tulajdonságait javítják – a kötés-, illetve szilárdulás szabályozók (gyorsítók, késleltetők), amelyek a friss beton tulajdonságait módosítják, és végül a megszilárdult beton tulajdonságait javítók: a szilárdság fokozók, a fagyállóság javítók, a vízzárást, illetve a víztaszítást segítők, a korrózióállóságot javítók, és végül az utókezelő vegyszerek.

A külföldi gyakorlat a különböző betonjavító anyagok kombinációját is széleskörűen alkalmazza. Az Egyesült Államokban ma már a betonok kb. 50 %-át vegyszerekkel készítik, a fejlett nyugateurópai országokban ez az arány kb. 15 %, míg Magyarországon kb. 2 % [2].

A betontechnológiának egyik legnagyobb vívmánya pedig éppen a betonjavító anyagok gyártása és felhasználása, ezért nem lehet belenyugodni abba, hogy Magyarországon ezen a téren még mindig olyan kicsi az érdeklődés. A fejlődés lehetőségeit csak egyetlen – az egyik legfontosabb – betonjavító anyagon keresztül szeretnénk bemutatni: a képlékenyítő szereken.

Ismeretes, hogy a beton bedolgozásához – a keverék belső súrlódásának a csökkentésére – vízre van szükség, éspedig annál több vízre, minél gyengébbek a tömörítő eszközeink, vagy mennél sűrűbben vasalt a szerkezetet kell készítenünk. A víz a cement és adalékanyag szemcséit filmként burkolja körül olyan vastagsággal, amely a víz felületi feszültségének a függvénye. Valamennyi képlékenyítő adalékszer közös tulajdonsága, hogy a víz felületi feszültségét mérsékeli s ezáltal kisebb vízfilm vastagság elegendő az azonosan csekély belső súrlódás kialakításához, illetve a vízfilm változatlan vastagsága mellett lényegesen csökkenthető a belső súrlódás. Ez a betonkeverék összetételére vonatkoztatva viszont azt jelenti, hogy

- változatlan cementtartalmat és azonos konzisztenciát feltételezve növelhető a beton szilárdsága (a szilárdságnövekedés mértéke 40 % -ot is elérhet), vagy
- azonos konzisztenciát és változatlan szilárdságot feltételezve csökkenthető a beton cementtartalma (a cement megtakarításának a mértéke 25 %-ot is elérhet), vagy
- változatlan cementtartalmat és szilárdságot feltételezve javítható a beton konzisztenciája (pl. földnedvesről félplasztikus-plasztikusra, vagy félplasztikusról plasztikura-folyósra).

A fenti előnyökön kívül számításba kell venni azt is, hogy a vízfelesleg a beton milyen sok tulajdonságát befolyásolja károsan a nyomószilárdságon kívül. Mennél több a készítési víz (egyébként változatlan feltételek mellett), annál nagyobb a keverék szétosztályozódási, vérzési hajlama, annál hosszabb idő múlva kezd szilárdulni a beton, a mesterséges érleléshez annál több hőre van szükség s annál hajlamosabb a beton a gőzölés alatti deformációkra, annál nagyobb a megszilárdult beton zsugorodása és lassú alakváltozása, annál kisebb a rugalmassági modulusa, annál nagyobb a vízfelvétele és annál kisebb a fagyállósága, időállósága, korrózióállósága, kopásállósága – hogy csak a legfontosabb jellemzőket említsük, mellőzve a teljes felsorolást.

A víz minimális szintre való leszorításához tehát alapvető érdekek fűződnek s ehhez fokozatosan megbízhatóbb képlékenyítő adalékszerek segítenek hozzá. Ha a konzisztencia javul, akkor egyszerűbbé, megbízhatóbbá válik a tömörítés, könnyebben lehet tömör és kavicsfészek mentes szerkezetet készíteni. Így a képlékenyítő adalékszerek hozzásegítenek a kisebb munkaigényű tömörítéshez is. A tömörítésben elérhető végső megtakarítást a folyósító adalékszerekkel lehet elérni (például a Woermann cég Liquidol márkajelű folyósítójával): felhasználásával a tömörítés szükségtelenné válik, a beton önmagától tömörödik,

A Liquidol ugyanis kémiai reakciók révén éri el a beton teljes tömörségét: az adalékszert a cement súlyának kb. 1 %-ában kell a betonhoz keverni s eredményeképpen a beton hígfolyóssá válik. Egyaránt továbbítható szivattyúval, vagy gravitációs csúszdával, a híg tejfelszerű massza a zsaluzatot valóban hézagmentesen tölti ki. A keverést követően mintegy 10 percen belül elkezdődő kémiai reakciók hatására a beton pezsegni kezd – hasonlóan a szódavízhez – a levegő a betonból eltávozik, és a keverővíz egy része is a beton felületére felúszik. Ez a víz azonban tiszta, cementszemeket nem ragad magával.

Magyarországon az ÉTI szentendrei telepén épülő tartószerkezet-vizsgáló csarnok vasbeton födémét készítettük Liquidol adalékszerrel. A födém 24×24 m^2 alapterületű, 1 m vastagságú, összesen kb. 600 m^3 térfogatú, sűrű vasalású vasbeton szerkezet, amelyben nem lehetett a betonhoz semmilyen tömörítő eszközzel hozzáférni, ugyanakkor az előírt szilárdság 400 kp/cm^2 volt. Az adalékanyag legnagyobb szemnagysága 10 mm, a kiinduló betonösszetétel 400 kg/m^3 600-as portlandcement, 0,6 víz/cement tényező. Az eredeti – Liquidol nélküli – betonkeverék terülése 40 cm. A Mélyépítő Vállalat északpesti Betongyárában kevert betont mixerkocsik szállították a szentendrei telepre, ahol közvetlenül a födém mellé épített ideiglenes állványról öntöttük be a keverődobba a Liquidolt. Mintegy 1 perces gyorsfordulatú keverés után a mixerkocsik az egyik Schwing-szivattyú tartályába ürítette a betont (a betonozáshoz 3 szivattyút telepítettünk), amelynek terülése a Liquidol hatására ebben az időpontban ~ 65 cm-re növekedett. A szivattyúkból a keverékeket három helyen juttattuk be a zsaluzatba, tömörítést nem alkalmaztunk. A betonozás 16 órán át tartott (reggel 6 órától este 22 óráig), tehát óránként közel 40 m^3 betont dolgoztunk be. Gondosan kellett a munkát megszervezni, mert kb. 6-7 percenként érkeztek a mixerkocsik a betonozás helyére (ezért is volt szükség három szivattyúra).

A beton szilárdága 7 napos korban átlagosan 400 kp/cm^2, 28 napos korban átlagosan 540 kp/cm^2 volt, a szilárdság szórása s ~ 45 kp/cm^2 értéket ért el (a vizsgálatokhoz 20 cm élhosszúságú kockákat készítettünk, ugyancsak tömörítés nélkül).

Meg kell még említenünk, hogy a nagytömegű beton hidratációs hőjének mérséklése és szabályozása érdekében kötéslassító adalékszert is adagoltunk, mégpedig olyan megtervezetten változó mennyiségben, hogy az egész betonszerkezet (600 m^3 beton) kötése egyszerre kezdődjék meg. Az első keverés reggel 6 órakor készült el, a keverékbe a keverőtelepen 24 órás kötéskésleltetéshez szükséges adalékszert kevertünk (a Woermann-cég LentanF márkajelű kötéskésleltetőjéből 1,8 %-ot a cement súlyára számítva). Az utolsó keveréshez este 10 órakor 8 órás kötéskésleltetéshez szükséges 0,4 % LentanF adalékszert adagoltunk. Ezzel az eljárással elkerültük, hogy a szerkezet különböző keresztmetszeteiben a különböző időpontokban kezdődő kötés-szilárdulás miatt belső feszültségek keletkezzenek. A beton felső szintjének a magasságát az oldalzsaluzathoz viszonyítva mértük meg az utolsó betonréteg felületének lesimítása (léccel való lehúzása) után. Ehhez a magassághoz viszonyítottuk a betonozás kezdetét követő kb. 50 óra múlva mért töppedést, amely kb. 2 mm volt (azaz a teljes vastagságra vonatkoztatva kb. 2 ezrelék).

A még puha beton felületébe este 10 órakor védőhüvelyeket mélyítettünk 50 cm mélységig és a hüvelyekbe bothőmérőket helyeztünk. Ezeken tudtuk leolvasni, hogy a kb. 600 m^3 betonban a hidratációs hő következtében a hőmérséklet a betonozás kezdetét követően kb. 24 óra múlva kezdett emelkedni és maximális értékét (valamivel +40 ^{o}C felett) kb. 48 óra múlva érte el.

A vasbeton szerkezetet a Mélyépítő Vállalat építette, északpesti betongyárából a keverékeket – Máhr Géza irányítása alatt – példás szervezettséggel szállította.

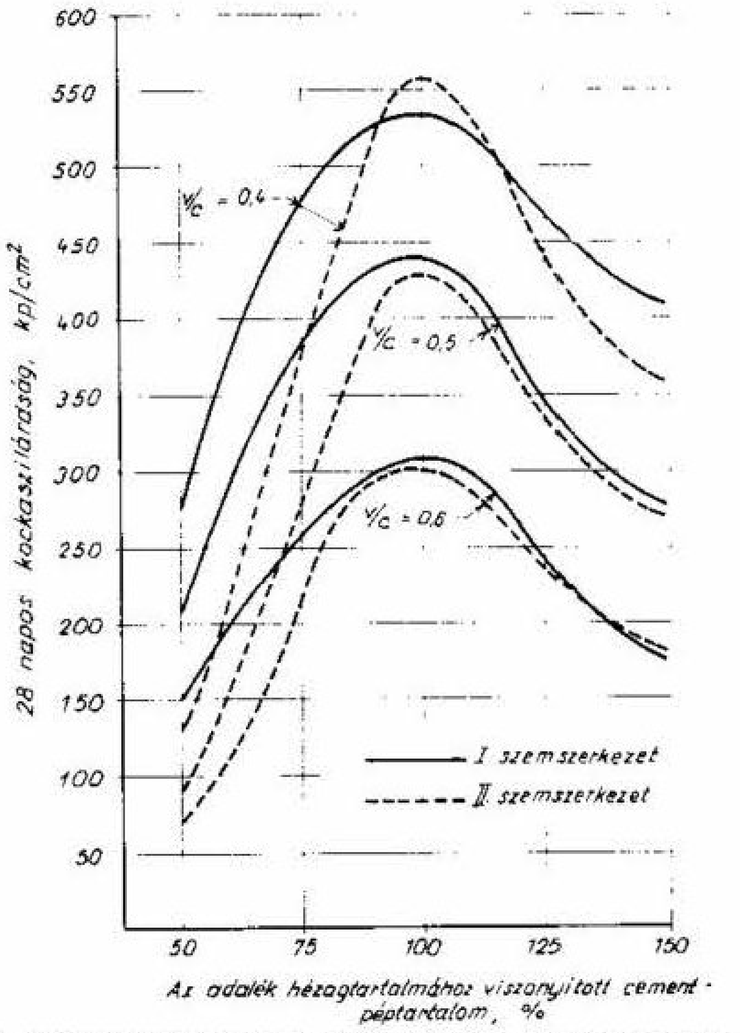
Ez a gyakorlati példa is igazolja, hogy a képlékenyítő adalékszerek alkalmazásával a jelenlegi építőipari gyakorlatban szokványos betonszilárdság (B200 – B280) lényegesen megnövelhető, és a B500 minőségű beton a képlékenyítésen kívül a besodort levegőt eltávolító anyaggal még tömörítés nélkül is elérhető.

2.2. A betonösszetétel szerepe a beton szilárdságában

Valamennyi betonösszetétel tervezési eljárás a már közel egy évszázada megtalált víz/cement tényező – nyomószilárdság összefüggésre épül. Ennek meghatározó jelentőséger vitathatatlan, de hajlamosak vagyunk megfeledkezni azokról a feltételekről, amelyek között érvényessége fennáll. Akkor lehet a víz/cement tényezőből a beton várható nyomószilárdságára egyértelműen következtetni, ha a beton annyi cementet tartalmaz, amennyi a tömör adalékanyagváz hézagainak a kitöltéséhez szükséges, és ha konzisztenciája azonos (például azonosan félplasztikus-plasztikus). Ha ezek a feltételek nem állnak fenn, akkor a víz/cement tényező – nyomószilárdság összefüggés sem egyértelmű.

Az Építéstudományi Intézet Betontechnológiai osztálya az év elején fejezte be az ÉVM Műszaki Fejlesztési Főosztályának a megbízása alapján az új cementszabványnak megfelelő minőségű kísérleti cementek betontechnológiai ellenőrzését [3], [4]. Az egységes program alapján lefolytatott kísérletekben a SZIKKTI Betonosztálya és az Ybl Miklós Műszaki Főiskola Tartószerkezeti tanszéke [6] is résztvett. Ezeknek a vizsgálatoknak a lényeges feladata az is volt, hogy az átdolgozandó ME 19-63 Műszaki Előírás betonösszetételekre vonatkozó utasításait ellenőrizze a beton telítettségétől függően, támpontot adva ezzel az új előírás összetétel-tervezési elveihez.

Először a kísérletekhez felhasznált 8, 16 és 32 mm legnagyobb szemnagyságú, új szabvány szerinti jó és megfelelő szemszerkezetű tömör adalékanyagok hézagtartalmát határoztuk meg, majd kiszámítottuk, hogy 0,3-0,6 között változó víz/cement tényezők mellett mennyi cementet és vizet kell adagolnunk, hogy a cementpép tartalom (cement + víz) térfogata éppen annyi legyen, mint amennyi a hézagok kitöltéséhez szükséges. Ezzel a cementpép térfogattal lehet ugyanis a legtömörebb betont (a hézagtartalomhoz viszonyítva 100 % cementpéptartalmú = telített betont) elkészíteni. Kiszámítottuk továbbá, hogy milyen keverési arány szükséges 50 és 75 % cementpéptartalmú telítetlen, illetve 125 és 150 % cementpéptartalmú túltelített betonok esetében. Az ezekkel a betonkeverékekkel készített próbatest-sorozatok két fontos eredményére kell itt a figyelmet felhívnom.

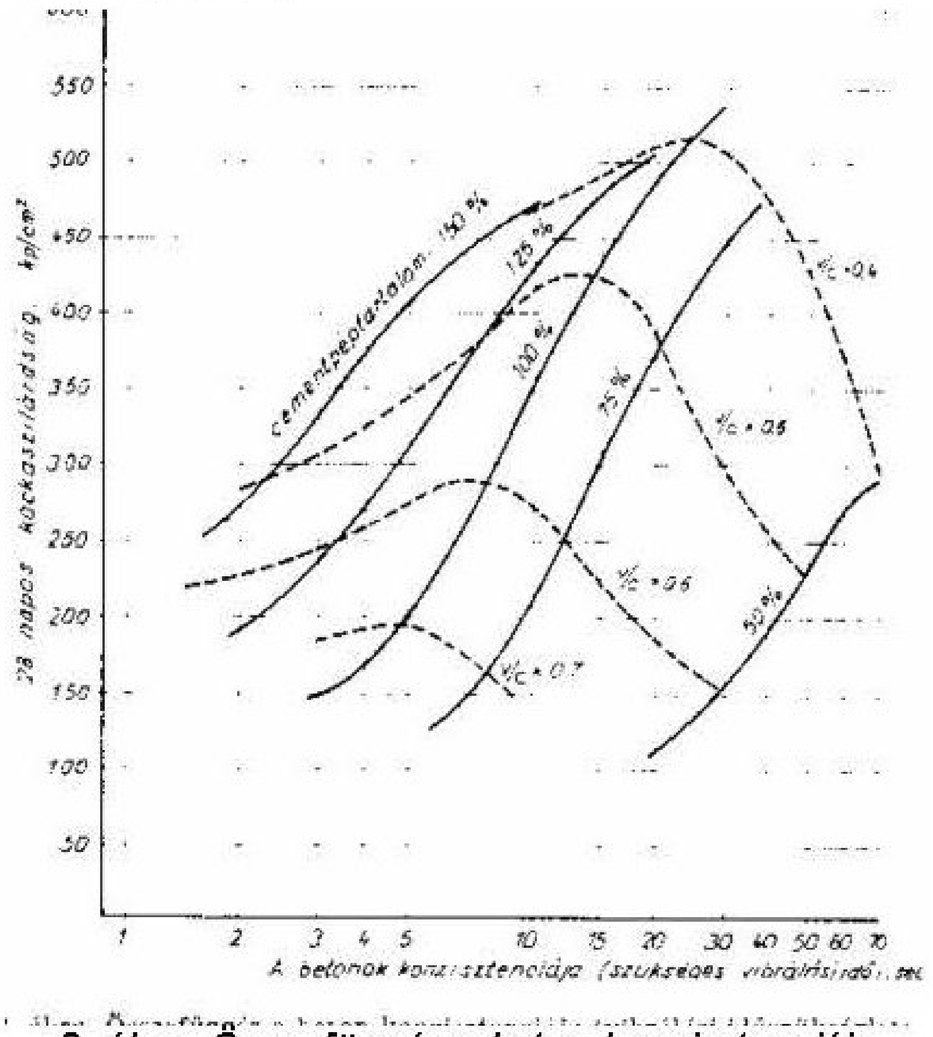


1. ábra: A betonok szilárdsága a telítettségtől függően

Azonos víz/cement tényezőjű, különbözőképpen telített,l a konzisztenciához illesztett tömörítéssel teljesen tömörré bedolgozott betonok közül mindig a telített beton adja a legnagyobb szilárdságot. Az adatok az 1. ábrán láthatók. Ez az eredmény nyomatékosan felhívják a figyelmet betonozási gyakorlatunk állandó problémájára: a biztonság helytelen értelmezéséből kiindulva a szükségesnél több cementet adagolunk, s ezzel elrontjuk a készített betonok minőségét. Nem véletlen, hogy az Építésügyi Minőségellenőrző Intézetnek az építőipar színvonaláról készített évi jelentéseiben a következő adatok találhatók:

Előírt betonszilárdság, kp/cm^2 :	100	140	200	280	400	500
Elért betonszilárdság, kp/cm^2 :	160	225	270	350	440	480

Ennek nagy valószínűséggel az az oka, hogy betonjainkat cementpéppel túltelítve készítjük olyan intervallumban, ahol már észlelhető változatlan víz/cement tényező mellett a szilárdság mérséklődése.



2. ábra: Összefüggés a beton konzisztenciája (vibrálási időszükséglete), víz/cement tényezője, telítettsége és kockaszilárdsága között

Még élesebben mutatja ezt a jellegzetességet az az összefüggés, amelyet a konzisztencia, a telítettség, a víz/cement tényező és a kockaszilárdság viszonyára lehet felrajzolni (2. ábra). Amíg az adott víz/cement tényezőknél optimális szilárdságot adó telített betonok szilárdságát a kívánalomnak megfelelően lehet bármilyen megkívánt értékre beállítani, addig a túltelített betonok szilárdsága 50 % túltelítettség esetén olyan kis határok között ingadozik, hogy gyakorlatilag az ábra szerint a víz/cement tényezőtől , illetve a konzisztenciától függetlenül alig lehet 300 kp/cm^2-nél kisebb, illetve 450 kp/cm^2-nél nagyobb szilárdságot elérni. Az ÉMI idézett eredményei alapján egyértelmű, hogy B200 vagy ennél nagyobb előírt betonminőséget minden esetben ezzel az eleve előnytelen, túltelített betonkeverékkel készít a hazai építőipar.

A cement átlagos felhasználása az évi cementtermelésből és a készített betonmennyiségből kiindulva becsülhető. Az évi cementtermelés és import 1973 évben összesen 4,2 millió tonna volt. Ha ebből levonjuk a habarcsokhoz, azbesztcement gyártáshoz felhasznált cement mennyiségét, kb. 3,5 millió tonna marad a betonhoz felhasznált cement mennyisége. Figyelembe véve, hogy 1973 évben kb. 8,5 millió m^3 beton készült, az átlagos cementfelhasználás kb. 400 kg/m^3-re adódik. Ez pedig még igen rossz adalékanyag szemszerkezet mellett is kb. 100 liter cementpép többletet jelent.

A gazdasági veszteségről nem kell szólni, ez mindenki számára világos. De a túlzott mennyiségű cement éppúgy ronthatja a beton szinte valamennyi tulajdonságát – zsugorodás, kúszás, időállóság, fagyállóság stb. – mint a túlzott mennyiségű víz.

Amint arról a bevezetőben volt szó, a beton szilárdságának a fokozására törekszünk annak érdekében, hogy tartószerkezeteink keresztmetszetét s ezzel súlyát csökkenthessük. Van még tehát szilárdsági tartalék a szokványos betonkészítési módszerekben is, és ezek közül a két legkönnyebben elérhető lehetőség a következő: betonképlékenyítő adalékszereket kell alkalmazni a konzisztencia javítására, illetve a vízadagolás csökkentésére, és a beton összetételét a telítettség figyelembe vételével kell megválasztani az előírt betonszilárdság gazdaságos elérésére. Az ezzel elérhető eredmények azonban végesek. Ma B560 az a legmagasabb betonszilárdság, amelyről előírásaink – mint szabványos betonról – említést tesznek. Az elmondottak is csak arra alkalmasak, hogy legalább ezt a betonszilárdságot gond nélkül el lehessen érni. Ennél nagyobb szilárdságú betont a szokványos módszerekkel nehezen lehet készíteni, a szerkezetek súlyának csökkentésére tehát más utakat kell keresnünk.

2.3. Néhány gondolat a beton tömörítéséről

A vasbeton szerkezetek súlyának csökkentésére az elmondottak szerint szerény eredménynek lehet tekinteni a legfeljebb 500-560 kp/cm^2 nyomószilárdságú beton megbízható előállítását, de az ismertetett módszerek alkalmazása mégis minőségi változást hozhat. Nagyobb, ugrásszerű fejlődést várhatunk azonban azoktól a törekvésektől, amelyek az igen nagyszilárdságú (1000 kp/cm^2 fölötti nyomószilárdságú) betonok készítésére törekszenek.

Ezek a vizsgálatok több irányúak. Egyrészről a cement hidratációjába való olyan beavatkozást kísérelnek meg, amellyel az átlagosan 60 mikron átmérőjű cementszemcséknek nemcsak 5-10 mikron vastagságú felületi rétege, hanem teljes tömege részt vesz a hidratációban, a szilárd cementkőváz kialakításában, másrészről a tömörség maximális mértékének elérési lehetőségeit kutatják. Ez utóbbi terület a beton tömörítése, erről szeretnék néhány gondolatot ismertetni.

A tömörítés vitathatatlanul a beton készítésének egyik legfontosabb folyamata. Ekkor válik az addig laza, nagy pórustartalmú halmaz tömör, pórusmentes termékké s ebben az állapotában megszilárdulva egész életében magán viseli ennek a korai beavatkozásnak minden következményét. A tömörítés szabja meg a beton összetételét is: ha hatékonysága nagy, akkor nagy belső súrlódású, azaz kevés vizet tartalmazó keveréket is képes tömörré alakítani.

A tömörítési módszerek közül a vibrálás a legelterjedtebb. A betonban keltett rezgések eredményeképpen a szilárd szemcsék egyre közelebb kerülnek egymáshoz, és a levegő a szemcsék között kifelé mozogva eltávozik. Ismeretesek a törekvések a többfokozatú vibrálás kialakítására: kezdetben kis frekvenciájú és nagy amplitúdójú vibrálással a durva adalékanyag vázat tömörítik, majd fokozatosan csökkenő amplitúdóval és növekvő frekvenciával a habarcsvázat. Más esetben a rezgések alakját módosítják, körrezgés helyett elliptikus, lineáris vagy változó irányú rezgéseket hoznak létre, amelyek mindegyike más és más típusú vasbeton elem készítésére használható kedvezően.

Jelentősebb eredmény érhető el a harmonikus rezgések helyett ütő-vibráló rezgések létrehozásával. Lényegében ezen az elven alapul az előregyártásban alkalmazott *Schock-beton* eljárás [2]. Gépi berendezése: merev, nagytömegű lemez, amelyet külpontosan elhelyezett görgőkkel emelnek néhány mm magasságra és ejtik le a nagytömegű alaptestre percenként 250 ismétléssel. A sablonokat a lemezhez rögzítik, töltésük rázás közben folyamatos, így a levegő eltávozása intenzívebb, akadálymentes, a szükséges víz/cement tényező a nagy energiájú ütközések miatt igen alacsony, ennek eredményeképpen 400 kg/m^3 cementtartalmú, 0,3 víz/cement tényezőjű keverékkel 600-800 kp/cm^2 szilárdság érhető el.

A betonkészítési eljárások másik csoportjához tartoznak azok a módszerek, amelyekkel a száraz adalékanyagot előre a sablonba tömörítik, s a hézagokat utólag töltik ki cementpéppel. A speciálisan előkészített cementhabarcsot a kolkrét technológiában alkalmazzák: nagysebességű ütköztetéssel a cementszemcséket tovább aprítják – nyírják – vízzel együtt, és ezt a kolloidális habarcsanyagot juttatják az adalékanyagvázba. A nyírás segítségével egészen alacsony víz/cement tényezővel lehet folyékony cementhabarcsot készíteni.

A víz/cement tényező csökkentésének, illetve automatikus beszabályozásának másik lehetősége az ún. *száraz-beton* eljárás [7]. Ennek lényege, hogy a szilárd, száraz alkotóanyagokat (adalékanyag + cement) összekeverik, és a zsaluzatba tömörítik. Minthogy a szemcséken vízfilm nincs, ezért azok egymással közvetlenül érintkeznek, a hézagtartalom minimális lesz. Ha a száraz, tömör keverékhez utólag vizet juttatunk, akkor csak annyi szívódik fel, amennyit a pórusok lehetővé tesznek, azaz automatikusan szabályozódik a víz/cement tényező. Az eljárással laboratóriumban 600-1000 kp/cm^2 nyomószilárdságot értek el.

A tömörség fokozására szolgáló módszerek között legeredményesebb a még csak laboratóriumi kutatás stádiumában lévő sajtolás: a sablonba helyezett beton összenyomása nagy erővel. Ennek eredményeképpen speciális cement-homok keverékkel 1000-3000 kp/cm^2 nyomószilárdság is elérhető, 300-400 kp/cm^2 hajlító szilárdság mellett. Ez az a végső állomás, amit ma látni lehet.

2.4. Könnyű adalékanyagú betonok

A tömörség maximális növelése és ezzel > 1000 kp/cm^2 nyomószilárdság elérése ma még laboratóriumban oldható meg. A szerkezetek önsúlyának – amit teherhordási veszteségnek is nevezhetünk – csökkentésére azonban további, már kihasználható lehetőségeket ad az adalékanyag súlyának a csökkentése. Az adalékanyag a közönséges beton súlyának ~ 80 %-át teszi ki. Ha tehát a kb. 2,6 t/m^3 testsűrűségű homokos kavicsot vagy kőzúzalékot kb. 1,3 t/m^3 testsűrűségű anyaggal tudjuk pótolni, akkor a vasbeton szerkezetek súlyát kb. 40 %-kal mérsékelhetjük, a beton szilárdságát pedig változatlan értéken tartjuk (140-560 kp/cm^2). Erre a természetes eredetű, e főleg a mesterségesen előállított könnyű adalékanyagok alkalmasak.

Az elmúlt néhány évtizedben külföldön és hazánkban is nagyra értékelhető erőfeszítéseket tettek a könnyű adalékanyagok felhasználására vasbeton szerkezetekhez, és bizonyos területeken – főleg külföldön – számos jelentős eredmény született. Az egész problémakört két szempontból kell értékelni: a csak korlátozott igényű, mérsékelt fesztávolságú szerkezetek szempontjából és a nagy fesztávú, nagy méretű műtárgyak szempontjából.

Az első kategóriába, amelybe elsősorban a lakóépületek tartoznak, ma már teljesen egyértelmű a nemzetközi állásfoglalás. Körülbelül 6 m az a fesztáv, amely mellett a lakóépületek, de különösen a magas épületek födémszerkezeteinél rohamosan hódit teret a kb. 1600 kg/m^3 testsűrűségű, BK280-400 szilárdsági jelű könnyűbeton. Leggyakrabban használt adalékanyaga a duzzasztott agyagkavics és az agloporit (zsugorított pernye vagy bányameddő).

Kevésbé egyértelmű az a kép, amelyet a könnyűbeton nagyfesztávú tartószerkezetekhez való alkalmazásáról tapasztalni lehet. Bár épültek 50-100 m fesztávolságú hídszerkezetek is könnyű adalékanyagos betonból, a zsugorodási, lassú alakváltozási tulajdonságainak, rugalmassági modulusának és tartósságának nem teljesen tisztázott volta miatt igazán elterjedt felhasználásáról még nem beszélhetünk, a dinamikus igénybevételeknek nem kitett gyalogos hidak kivételével. Úgy vélem azonban, hogy amikor a ma még fenntartással fogadható és néha ellentmondó kísérleti eredmények végleges igazolást nyernek – s erre a CEB-FIP egyesített Könnyűbeton Bizottsága igen sok erőfeszítést is tesz – a könnyű adalékanyagú betonok nagy fesztávolságú szerkezetekhez való alkalmazása növekedni fog.

Magyarországon csak a falazó anyagok (kézielem, közép- és nagyblokk, öntött fal) és födémbéléstestek készítésére használjuk. Bár néhány kísérleti könnyűbeton födémpanel importból származó duzzasztott agyagkavics adalékanyaggal 15 évvel ezelőtt elkészült ugyan (Bp. XI., Tas vezér utcai lakóház), megfelelő hazai adalékanyag hiányában azonban a széleskörű ipari alkalmazása nem indult meg. Pedig rövidesen szükségessé válik a könnyűbeton alkalmazásának újraértékelése.

Ezt a témát, amelyről néhány gondolatomat itt elmondtam, nem lehet egyetlen tanulmány keretében kimeríteni. Úgy tűnik, hogy a magyar beton- és vasbetonépítési gyakorlatban most jutottunk el arra pontra, amikor rendelkezésre állnak azok az eszközök, amelyekkel termelékenyen lehet dolgozni és a mennyiségi igényeket ki lehet elégíteni. Most kell a következő lépést megtenni, amikor már a minőségi munkát is megköveteljük. Ehhez egyik oldalról a korszerű technológiák, másik oldalról a jól felkészült szakemberek rendelkezésre állnak, csak ismereteinket kell elmélyíteni.

Irodalom

[1] *Prof. Ing. Morandi, R.:* Past and future achievements in reinforced concrete. Concrete 1971. February, p. 41—47.

[2] *Dr. Újhelyi J. és társai:* Beton- és habarcstechnológia. Műszaki Könyvkiadó, Bp., 1973.

[3] *Dr. Újhelyi, J.:* Új cementek betontechnológiai vizsgálatai. I. ÉTI Jelentés. Budapest, 1973. május. Kézirat.

[4] *Dr. Újhelyi, J.:* Új cementek betontechnológiai vizsgálata II. ÉTI Jelentés. Budapest, 1974. január. Kézirat.

[5] *Dr. Székely, A.:* ME 19-63 Műszaki Előírás átdolgozásához szükséges betonkísérletek „450 R" jelű cementtel. SZIKKTI jelentés, Budapest, 1973. május. Kézirat.

[6] *Bálint, J.:* Az ME 19-63 Műszaki Előírásának előkészítéséhez szükséges kísérletek. 350-20 és 550 jelű cementek vizsgálata. Ybl Miklós ÉMF Tartószerkezetek Tanszék kutatási jelentés. Budapest, 1973. április.

[7] *Horváth, B. E.:* Kontakt-beton előállításának és tulajdonságainak vizsgálata. ÉTI jelentés, Bp. 1974. március. Kézirat.

Magyar Építőipar 1977. 8. pp. 480-485.

A beton és vasbeton készítés új műszaki irányelvei (ÉSZKMI 19-77)

Dr.Ujhelyi János, a műszaki tudományok kandidátusa, Alpár-érmes

1. Az Irányelv elkészítésének okai

A kivitelező építőipar egyik leggyakrabban használt szabályozási irata volt az ME 19-63 számú Műszaki Előírás. Átdolgozását a következők tették szükségessé [1]:

a) Az MSZ 15022 „Építmények teherhordó szerkezeteinek erőtani tervezése" című szabványsorozat 1973 évben hatályba lépett. Ez a szabvány az ún. félvalószínűségi elméleten alapszik, azaz az építményre ható terheket és a teherviselő szerkezetek anyagának határfeszültségeit matematikai-statisztikai értékelés alapján határozza meg, és a szabványok előírásai néhány elvi kérdésben a valószínűségi elméletre támaszkodnak [2]. Ez megköveteli a beton készítőitől, hogy a beton minőségét a szilárdság egyenletességének (valószínűségi eloszlásának) a figyelembe vételével értékeljék, következésképpen át kell térni az átlagszilárdság vizsgálatáról a szilárdság minősítő értékének a meghatározására.
Ez azt jelenti, hogy a beton készítésekor az alapanyagok kiválasztásától kezdve az utókezelésig bezárólag az egyenletes minőségű beton előállítására kell törekedni. Ez a követelmény az ME 19-63 számú előírásban még nem kapott elegendő hangsúlyt, illetve a követelmény kielégítésének ma feltételei nem voltak biztosítottak.

b) Az ISO-KGST nemzetközi cementszabvány hazai bevezetésének a következtében nemcsak a cementek elnevezése (márkajele) változott meg, hanem módosult szinte valamennyi hazai cement minősége is. Ennek eredményeképpen elavultak, használhatatlanná váltak az eddigi tervezési táblázatok, de ugyanúgy elavultak a vállalatok statisztikai adatgyűjtésen alapuló házi beton-összetételi előírásai is, amelyek alapján korábban sorozatgyártásukat végezték.

c) Az általános energiaválság következtében fokozottan szükséges ösztönözni a cementtakarékos betontechnológiára, Az ME 19-63 keverési és készítési utasításai még kevéssé korszerű eszközökre, nem célszerűen kialakított technológiai gépláncokra épültek, a gyakorlatban a betonösszetételi táblázatok vízadagolási adatai is túlzottnak mutatkoztak. Ezenkívül a hazai és a külföldi vizsgálatok eredményei lehetővé tették, hogy az eddig kizárólag a víz/cement tényezőre épülő szilárdság előbecslő képleteket pontosítsuk s a beton tulajdonságait befolyásoló többi fontos tényező (cementpép tartalom, adalékanyag hézagtartalma, konzisztencia) beépítsük a betonösszetétel tervezési módszerébe [3]. Ezzel javítható a beton szilárdságának az egyenletessége, így fokozatosan bevezethető a cementtakarékos betonkészítés is.

d) Az ME 19-63 számú előírás még az ötvenes évek elején elvégzett kísérletek adataira támaszkodott, mert az ME 19-54 (azaz 1l54-ben megjelent) előírást 1963 évben kísérletek nélkül kellett korszerűsíteni. Az azóta eltelt időben a hazai betontechnológia is sokat fejlődött, fokozódott az előregyártás, korszerű gépeket állítottak üzembe, tömegessé vált a központi gyárakban készített beton, elterjedt a betonjavító adalékszerek használata, betonszivattyúkat és mixerkocsikat alkalmaznak, fejlődtek a tömörítő eszközök, növekedtek a beton speciális tulajdonságaival szemben támasztott követelmények. Mindezeknek a korszerűsítéseknek a kihatásait csak a régi előírás teljes átdolgozásával lehetett érvényesíteni.

e) Az MSZ 15022 szabványsorozta szükségessé tette a beton vizsgálatát és minősítését tárgyaló szabványok teljes átdolgozását is. A szabványok kötelező érvényűvé válása azonban késik. Ez részben annak a következménye, hogy a magyar betonszabványok átdolgozásával egyidőben a KGST-országok vonatkozó szabványajánlásainak újrafogalmazása is megkezdődött, és ezek elkészültéig a magyar szabványokat nem lehetett véglegesíteni. Részben annak is következménye, hogy a beton szilárdságának valószínű eloszlására nincs

sem nálunk, sem külföldön elegendő adat, ezért a vizsgálati módszerek kialakításában sem lehet egységes az álláspont. De következménye annak is, hogy az új elveket nemcsak a betonminősítés, hanem az adalékanyag vizsgálat szabványaiban is érvényesíteni kell, és pl. az adalékanyag szabvány átdolgozása feltételezhetően csak 1978 évben fejeződik majd be. A méretezés korszerű elvei azonban mindaddig nem érvényesíthetők a gyakorlatban, amíg a beton készítése, vizsgálata és minősítése nincs szabályozva. A műszaki irányelvnek a szabványokkal szemben kevesebb a kötöttsége, emiatt elkészítése és megjelentetése lényegesen gyorsabb, mint a szabványok hatályba léptetése. Ezért – ha csak átmeneti időre is – a műszaki irányelvek pótolhatják a hiányzó szabványokat. Ezt megfontolva határozott úgy az Építésügyi és Városfejlesztési Minisztérium Műszaki Fejlesztési Főosztálya, hogy megbízza az Építéstudományi Intézetet az ÉSZKMI 19-77 kidolgozásával.

f) A CEB-CIB-FIP-RILEM nemzetközi szervezetek közös munkabizottsága hosszú idő óta foglalkozott a szerkezetek tervezésében a valószínűségi elvek érvényesítésével a determinista megközelítés helyett. A kiterjedt munka eredményeit 1974 évben ajánlásban adta közre [4]. Ez az ajánlás sok olyan szempontot foglalt össze, amelyek hazai alkalmazása a magyar betonkészítési és minőségellenőrzési tevékenységet javítja. Az új műszaki irányelvek ennek az ajánlásnak a szempontjait is megkísérelték érvényesíteni, hacsak azok nem állnak ellentétben a magyar szabványjavaslatokkal.

Az ÉVM Műszaki Fejlesztési Főosztály első megbízását 1973 évben adta az ÉTI Betontechnológiai Osztályának az új MSZ 4702 szabványnak megfelelő minőségű kísérleti cementek vizsgálatára [3], [5], és folyamatosan folyósította nemcsak a program szerinti kutatások tetemes költségeit, hanem Ostermann Lajos oszt. vez. h. és Takácsy Gyula csop. vez. személyében tevőlegesen is közreműködött a műszaki iránylevek határidőre történő elkészítésében. A Műszaki Irányelveket az ÉTI Betontechnológiai Osztályának kollektívája készítette el szerző irányításával: Dr. Buday Tibor és Dr. Tevan Zsófia tud. főmunkatársak, Horovitz János, Horváth Bors Ernő, Pál Károly és Székely Dénes tud.munkatársak. A nyomdai előkészítésben Babos Miklós oszt. vez. és Kubinyi Ilona tud. munkatárs (Építésügyi Szabályozási Központ) vett részt.

Színvonalas munkájukért valamennyiket köszönet illeti.

2. Az új irányelvek elkészítésének gazdasági szükségessége

Az utóbbi években egyre fokozódó nyugtalanságot keltettek világszerte az energiahelyzet válságával foglalkozó közlemények, és a következményeket a nemzetközi műszaki szervezetek fórumain is egyre többen vitatják. E vitákból az állapítható meg, hogy ez a nyugtalanság a jövőben még növekedhet, mert a következő évtizedben a világ energiafogyasztása a jelenleginek mintegy kétszeresére, az évszázad végére pedig több, mint háromszorosára fog növekedni [6]. Az irodalmi adatok azt mutatják, hogy az ezredfordulóig a betonkészítés mennyiségének töretlen fejlődésével kell számolni [7], és a hazai prognosztizáció szerint is 1-2 évtized alatt a jelenlegi 7-8 millió m^3 évi betontermelés közel kétszeresére fog növekedni. Márpedig a beton energiaigényes építőanyag, fontos gazdasági érdekek indokolják tehát a betonkészítés energiatakarékos lehetőségeinek a kutatását.

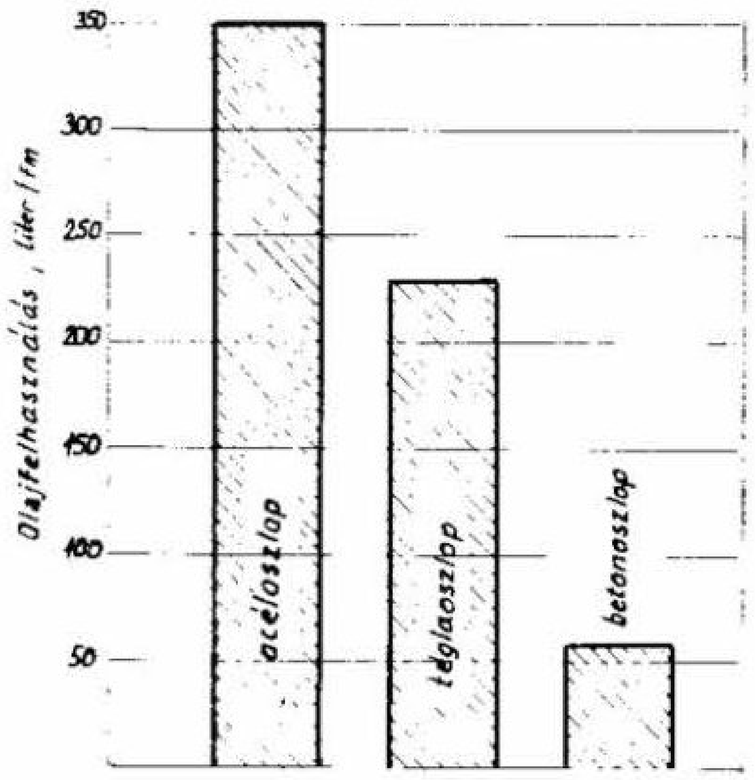
A beton készítéséhez felhasznált energiát szemléletesen mutatja egy norvég közlemény [8]. *O. Beijer* azt vizsgálta, hogy adott tartószerkezet előállításához mennyi olajat kellett felhasználni, figyelembe véve az anyagok és a készítési technológia hőenergia igényét. Többek között ezt a tanulmányt használtuk fel a hazai betonkészítési gyakorlat energiafelhasználásának a vizsgálatára [9].

A beton és vasbeton szerkezetek előállítása során felhasznált energia teljes mennyisége az alábbi részadatokból tevődik össze:

- 1 tonna cement gyártásához kb. 130 liter olaj,
- 1 m^3 adalékanyag (homokos kavics) termeléséhez és osztályozásához kb. 3 liter olaj,
- 1 tonna acélbetét előállításához kb. 700 liter olaj,

- 1 m^3 könnyű adalékanyag előállításához kb. 12 liter olaj,
- 1 tonna alapanyag szállításához kb. 1 liter olaj,
- 1 m^3 beton keveréséhez, szállításához és bedolgozásához kb. 3 liter olaj,
- 1 m^3 beton mesterséges szilárdításához (pl. gőzérleléséhez) az üzemi adottságoktól függően kb. 14-32 liter olaj

mennyiségű fűtőanyag szükséges.

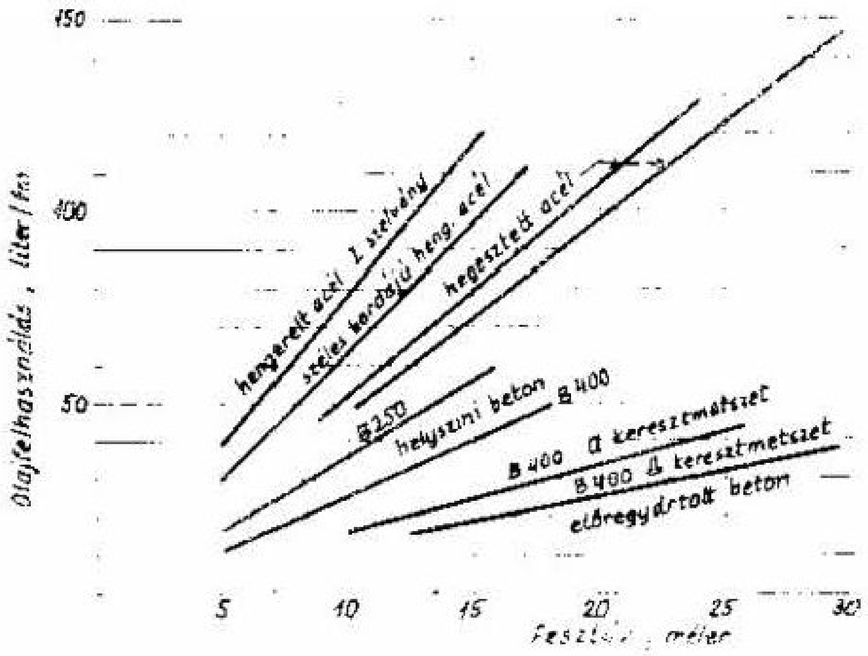


1. ábra: Különböző anyagokkal készített, azonos teherbírású oszlopok előállításához szükséges energia mennyisége

A fenti felsorolásból kitűnik, hogy a vasbeton szerkezetek készítése során az energiafogyasztás sorrendjében legkedvezőtlenebb az acélbetét, ezt követi a cement, míg a készítési technológiában a legtöbb energiát a gőzérlelés fogyasztja. Ha a betont könnyű adalékanyaggal készítik, akkor annak előállítása az energiafogyasztás szempontjából a negyedik. Az egyéb anyagok, illetve technológiai műveletek energiafogyasztása elenyésző.

Ebből viszont az következik, hogy energiatakarékos betonszerkezeteket akkor lehet készíteni, ha azok elsősorban cement- és acéltakarékosak, és ha a beton mesterséges érlelése korszerű, a hőveszteségek minimálisak.

Az anyagok rangsorolását az energiafelhasználás szempontjából számos tényező befolyásolja. Ugyanolyan használati jellemzőjű, de különböző anyagokból készített tartószerkezetekben felhasznált energia mennyiségének egyszerű összehasonlítása nem elegendő, mert a szerkezetek értékelését a tartószerkezeti alapjellemzőkön (pl. testsűrűség, teherbírás) kívül számos közvetett tényező befolyásolja, mint pl. a tűzállóság, a szerkezet élettartama, a karbantartási igény, a hőszigetelő képesség stb. Ezek a tényezők az első közelítésben elhanyagolhatók, és kizárólag az azonos teherbírás vehető figyelembe. Az ily módon végzett összehasonlítást az 1. és 2. ábra mutatja be. Az ábrából egyértelműen levonható az a következtetés, hogy a beton és vasbeton szerkezetek energiafelhasználás szempontjából kedvezőbbek, mint az acél- és téglaszerkezetek.



2. ábra: Különböző fesztávolságú, azonos teherbírású gerendák előállításához szükséges energia mennyisége olaj-literben kifejezve

Ha a betonkészítés anyag- és energiatakarékos lehetőségeit vizsgáljuk, akkor első feladatunk a cementtakarékos betonkészítés feltételeinek az elemzése.

Az adalékanyag akkor ad lehetőséget a cementtakarékos beton előállítására, ha a cementpéppel kitöltendő hézagtartalma kicsi. Ehhez meghatározott szemmegoszlású, azaz osztályozott homokos kavics vagy zúzottkő szükséges [10]. Amíg a hazai természetes állapotú homokos-kavics – függetlenül a lelőhelytől – átlagosan 280-300 liter/m^3 cementpéppel megkeverve válik telítetté (ez 0,5 víz/cement tényező mellett 350-380 kg/m^3 cementtartalmat jelent), addig osztályozott adalékanyaggal a cementpép igény 200-220 liter/m^3-re csökkenthető (azaz 0,5 v/c mellett 240-270 kg/m^3 cementtartalomra). Mindkét betonkeverék konzisztenciája és szilárdsága közel azonos. A cement csökkentéséből eredő energiamegtakarítás 10-13 liter/beton m^3 olajjal egyenértékű.

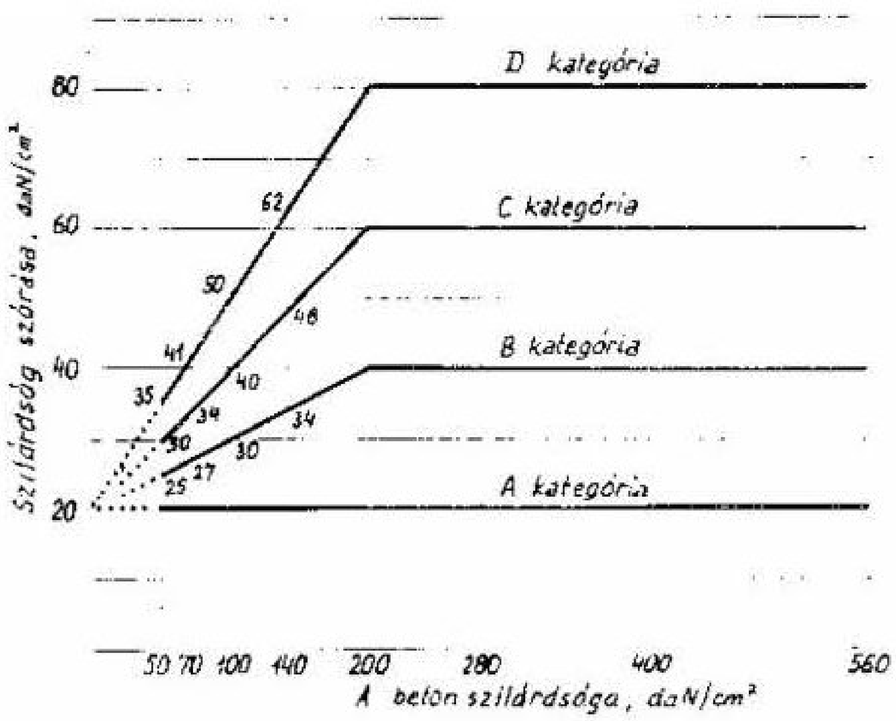
A cement az energiatakarékosság szempontjából akkor van jól kiválasztva, ha minősége az előírt betonszilárdsághoz illeszkedik. Ha pl. B280/200 jelű (azaz a minősítő szilárdság K_m = 200 kp/cm^2) képlékeny konzisztenciával készített betonhoz 550-es portlandcementet használnánk, akkor a beton szilárdsági követelményét kielégítő cement mennyisége kevesebb lenne, mint amennyit az acélbetétek korrózió elleni védelme érdekében kellene a betonhoz keverni. Ebből következik, hogy 550-es cementből csak felesleges szilárdságtöbblettel lehet mindenben megfelelő minőségű B280/200-as vasbeton szerkezetet készíteni. Ilyen esetben gazdaságosabb a kisebb szilárdságú cement.

Az adalékszerek közül elsősorban képlékenyítő vegyszerek segítik elő a cementtakarékosságot, mert alkalmazásukkal változatlan konzisztenciát kisebb víz/cement tényezővel, tehát kisebb cementtartalommal is el lehet érni. Különösen figyelemre méltóak az ún. szuperfolyósítókkal elért eredmények; ezeknek a vegyszereknek hazai elterjesztése a betonkészítési gyakorlat számára igen kedvező lenne [10].

Az acélbetét gyártásához kell a legtöbb hőenergia. A hajlított vasbeton szerkezetekben annál kevesebb az acélbetét mennyisége, minél nagyobb az acél és a beton határfeszültsége. Ha pl. 1800 kpm nyomatékra méretezett vasbeton gerendát készítünk, akkor B200/140 betonminőség és 2700 kp/cm^2 határfeszültségű acél esetén kétszer annyi acélbetét szükséges, mint B400/280–as beton és 4000 kp/cm^2 határfeszültségű acél esetén.

A beton készítéséhez alkalmazott eszközök (keverőgép, szállítóeszköz, tömörítő berendezés) energiafelhasználása minimális, ezért ezeknek az eszközöknek nem az energiafelhasználását kell elsősorban csökkenteni, hanem abból a szempontból kell korszerűsíteni, hogy nagyszilárdságú betont állíthassunk elő egyenletes betonminőségben.

Az iparban alkalmazott keverő- és szállítóberendezések általában korszerűek: ha az alapanyag minősége egyenletes, a betont szakképzett munkások készítik és ha a gyártás közbeni minőség-ellenőrzés korszerű, akkor B200 vagy ennél nagyobb szilárdságú beton esetén lehetséges legfeljebb 40 kp/cm^2 szilárdsági szórású beton készítése.



3. ábra: Különböző kategóriájú munkahelyen figyelembe vehető szilárdsági szórás

A beton összetételét a szilárdsági szórástól függően kell megtervezni. A szórás mértéke az adott munkahelyi feltételektől függ, megállapításának megbízható módja a statisztikai adatgyűjtés. Ha nincs ilyen vizsgálati adat, akkor a szórás várható értékének becslésére felhasználható a műszaki irányelv vonatkozó ábrája (3. ábra). Az ábra négy munkahely-kategóriát különböztet meg az alábbiak szerint:

„A" munkahely: adalékanyag 4-5 frakció, ebből két frakció homok (pl. 0-1 mm és 1-4 mm), cement-, adalékanyag- és vízmérleg, az adalékanyag nedvességtartalmának rendszeres vizsgálata és figyelembe vétele a készítési víz mennyiségében, kényszerkeverőgép, betonkészítő szakmunkásokkal sorozatban végzett betonkészítés, jól felszerelt üzemi laboratórium, amely mind az alapanyagokat, mind a friss és a megszilárdult betont naponta ellenőrzi és állandóan vizsgálja a konzisztenciát.

„B" munkahely: Adalékanyag legalább három frakció, ebből egy frakció 0-1 vagy 0-4 mm, cement-, adalékanyag- és vízmérleg, kényszerkeverőgép, jól begyakorolt munkásokkal sorozatban végzett betongyártás, az alapanyagokat és a megszilárdult betont szükség szerint ellenőrzik, de állandóan vizsgálják a konzisztenciát.

„C" munkahely: rendszeresen ellenőrzött és javító frakcióval (vagy frakciókkal) a szemmegoszlástól függően javított adalékanyag, vagy a a keverési aránynak a rendszeresen ellen-

őrzött adalékanyag-szemmegoszlástól függő rendszeres módosítása, cement- és adaléka-nyagmérés tömeg szerint, szabadonejtő- vagy kényszerkeverőgép, konzisztenciavizsgálat naponta többször.

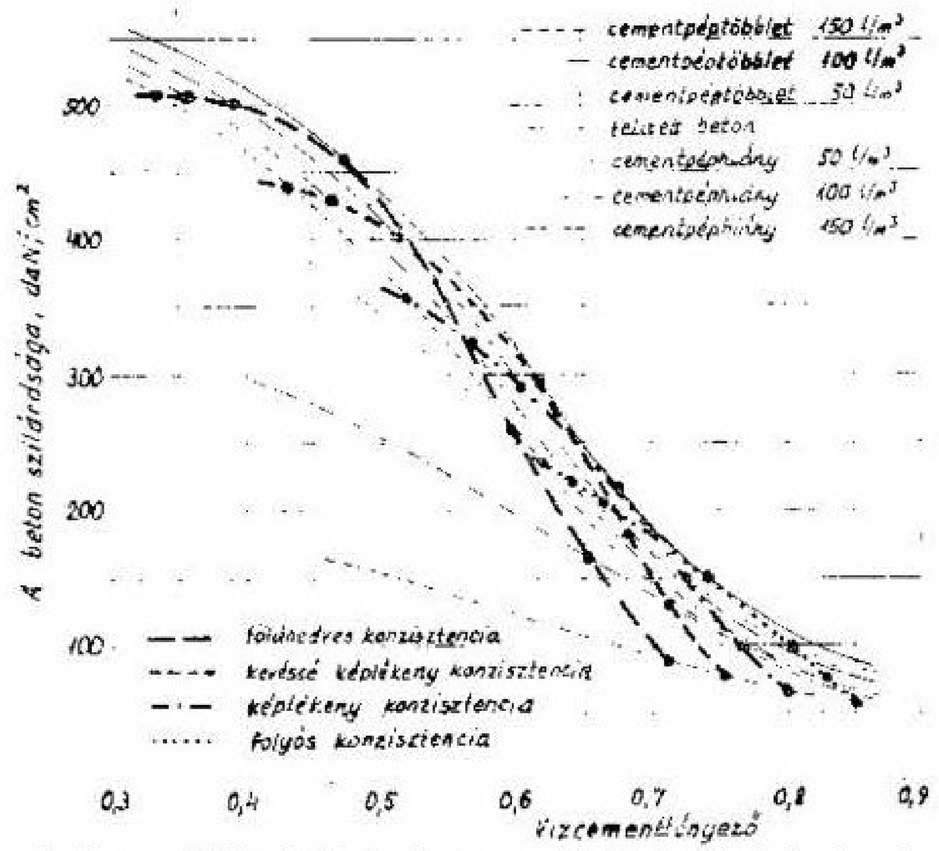
„D" munkahely: osztályozatlan adalékanyag, próbakeveréssel megállapított, de munka közben nem módosított keverési arány, konzisztencia ellenőrzése szemrevételezéssel.

A beton összetételét a munkahely kategóriájától (a beton várható szilárdsági szórásától) függően az 1. táblázatban megadott átlagos nyomószilárdságokra kell tervezni. Az 1.táblázat szerint pl. a B280/200 szilárdsági jelű betont a munkahely kategóriájától függően 240-380 kp/cm^2 közötti átlagszilárdságúra kell beállítani (erre az átlagos nyomószilárdságra kell a beton összetételét megtervezni). Ha azzal a becsléssel élünk, hogy 1 kp/cm^2 nyomószilárdság 1 kg/m^3 cementtel érhető el, akkor az átlagszilárdság egyúttal a m^3-enként adagolandó cement mennyiségét is kifejezi. Ebből számítható, hogy a cement adagolandó mennyisége kis szilárdsági szórás mellett („A" kategória) 31 liter, nagy szilárdsági szórás mellett („D" kategória) 47 liter olaj felhasználásával jelenti 1 m^3 betonra vetítve.

1. táblázat: A beton összetételének tervezéséhez figyelembe veendő átlagszilárdság a munkahely színvonalától függően

Betonosztály	A betonösszetétel megállapításához figyelembeveendő átlagszilárdság kp/cm², ha a munkahely kategóriája			
	A	B	C	D
B 50/35	75	85	95	105
B 70/50	90	106	120	134
B 100/70	110	130	150	170
B 140/100	140	168	196	224
B 200/140	180	220	260	300
B 280/200	240	280	320	360
B 400/280	320	360	400	440
B 560/400	440	480	520	560

3. Vizsgálatok az irányelv elkészítéséhez

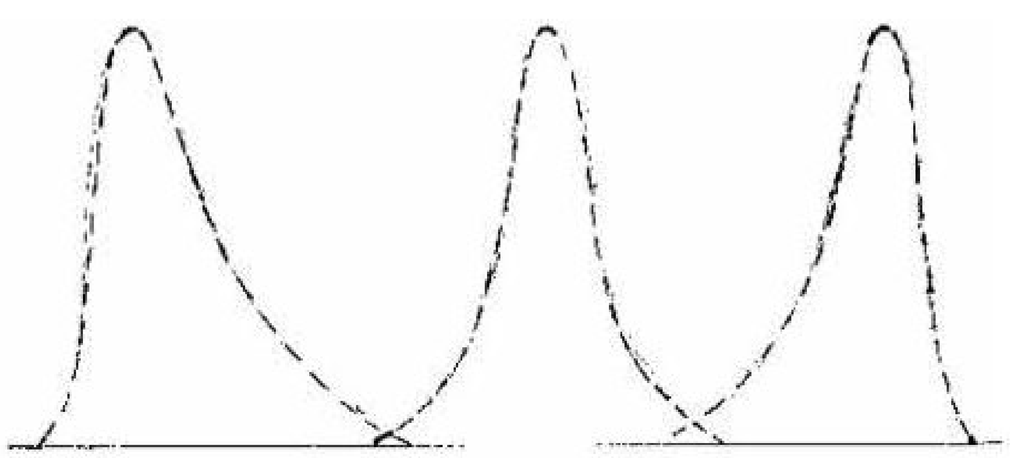


4. ábra: 450 minőségű cementtel készített betonok szilárdságának összefüggése a konzisztenciával, a telítettséggel és a víz/cement tényezővel

A laboratóriumi munka elsősorban az új ISO-KGST szabvány szerinti cementvizsgálatokkal minősített és a nemzetközi minőségi követelményeknek megfelelő új hazai cementek betontechnolgiai ellenőrzésével kezdődött. Ezeknek a kísérleteknek az eredményeit használtuk fel a műszaki irányelv betonösszetételi előírásainak az elkészítésére is. A vizsgálatok eredményeit részletesen ismertettük a [11] alatti tanulmányban. E helyen csak a legfontosabb következtetéseket ismételjük meg: a beton összetételének a meghatározásakor figyelembe kell venni az alkalmazott tömörítőeszköztől függő konzisztenciát és a beton telítettségét, azaz az adalékanyag hézagainak a kitöltöttségét cementpéppel. A 450-es cementekre ez az összefüggés a 4. ábrán látható.

További kísérleteket végeztünk a betonjavító anyagok (adalékszerek) alkalmazási körének kiterjesztésére, illetve az adalékszer választék bővítése érdekében számos külföldi anyagot vizsgáltunk meg [12]. Ezek eredményeit dolgoztuk fel az irányelv 1.4. fejezetében.

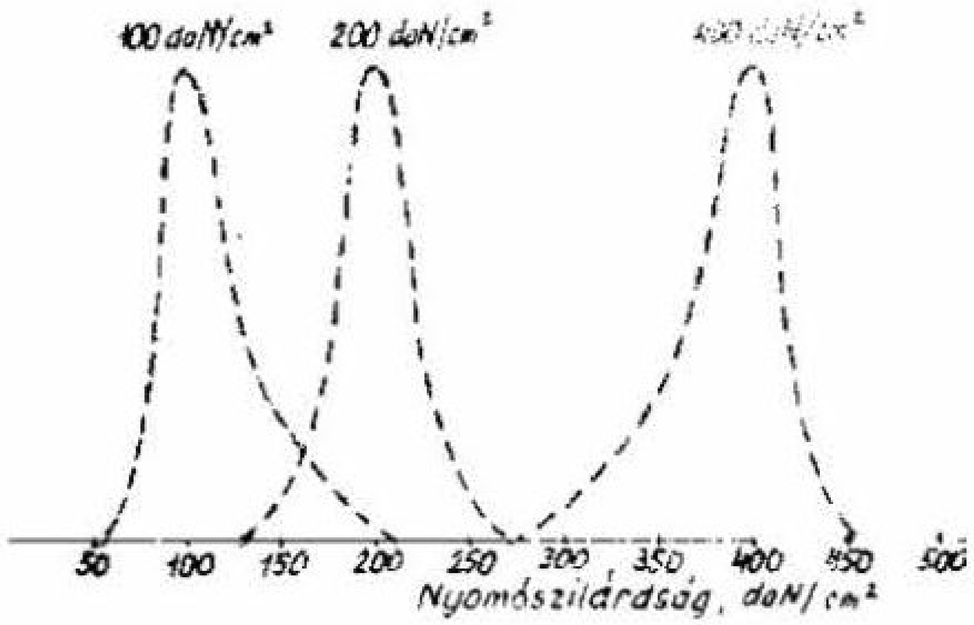
Az új MSZ 15022 szabvány félvalószínűségi elméleti alapjai miatt a betonok szórásviszonyait, a szórást befolyásoló tényezőket mind alapkutatási [13], mind ipari kísérleti szinten [14] meg kellett vizsgálnunk. Ez azonban a betontechnológiának az a területe, ahol ismereteink a leghiányosabbak. Még azt sem tudjuk kellő biztonsággal, hogy a szilárdság valószínű eloszlása az 5. ábrán feltüntetett eloszlástípusok közül melyiket közelíti meg legjobban.



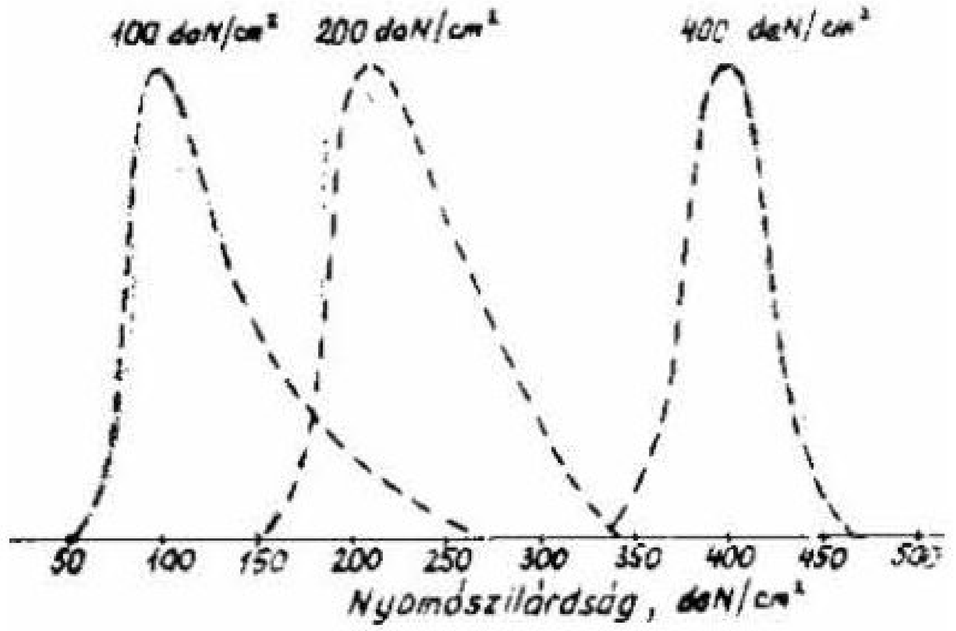
5. ábra: A betonszilárdság valószínű eloszlásának különböző típusai

Eddigi ismereteinkből arra lehet következtetni – de ezt a következtetést még kísérletekkel kell igazolni –, hogy a balra ferdülő (Pearson- vagy logaritmikusan normális eloszlás) eloszlástípusok a B100 vagy ennél gyengébb betonokra jellemzők. A normális (Gauss) eloszlás a B140 vagy ennél szilárdabb betonokra, míg a jobbra ferdülő eloszlástípusok akkor alakulnak ki, amikor a beton készítése során durva hibákat követtek el (változó szemmegoszlás, konzisztencia és víz/cement tényező, egyenlőtlen tömörítés stb.). A szilárdság valószínű eloszlásának alakja tehát egyrészt a szilárdságtól, másrészt a betonkészítő munkahely felkészültségétől, technológiai fegyelmétől függ.

Érdemes idézni Dr.György László szellemes gondolatát: minden betonkeverék – természetéből adódóan – arra törekszik hogy 280 kp/cm^2 szilárdságú legyen. Ha kisebb szilárdságúra kényszerítjük, akkor Pearson-eloszlást vagy szélsőséges esetben logaritmikusan normális eloszlást vesz fel. Ha lényegesen nagyobb szilárdságúra készítjük, akkor eloszlása jobbra ferdül. Tovább gondolva ezt az ötletet valószínűnek tűnik, hogy a beton szilárdságának valószínű eloszlását az szabja meg, hogy a kérdéses munkahely milyen átlagszilárdság elérésére alkalmas: milyen lelőhelyről származó, milyen osztályozottsági élességű adalékanyaggal, milyen cementfajtával, milyen gépekkel dolgozik, milyen begyakorlottak a szakmunkások, milyen színvonalú az irányítás és a gyártásközi ellenőrzés. Ha a felsorolt feltételek 200 kp/cm^2 nyomószilárdságú beton készítésére alkalmasak, akkor a 6. ábra, ha 400 kp/cm^2-re alkalmasak, akkor a 7. ábra szerinti eloszlások várhatók.



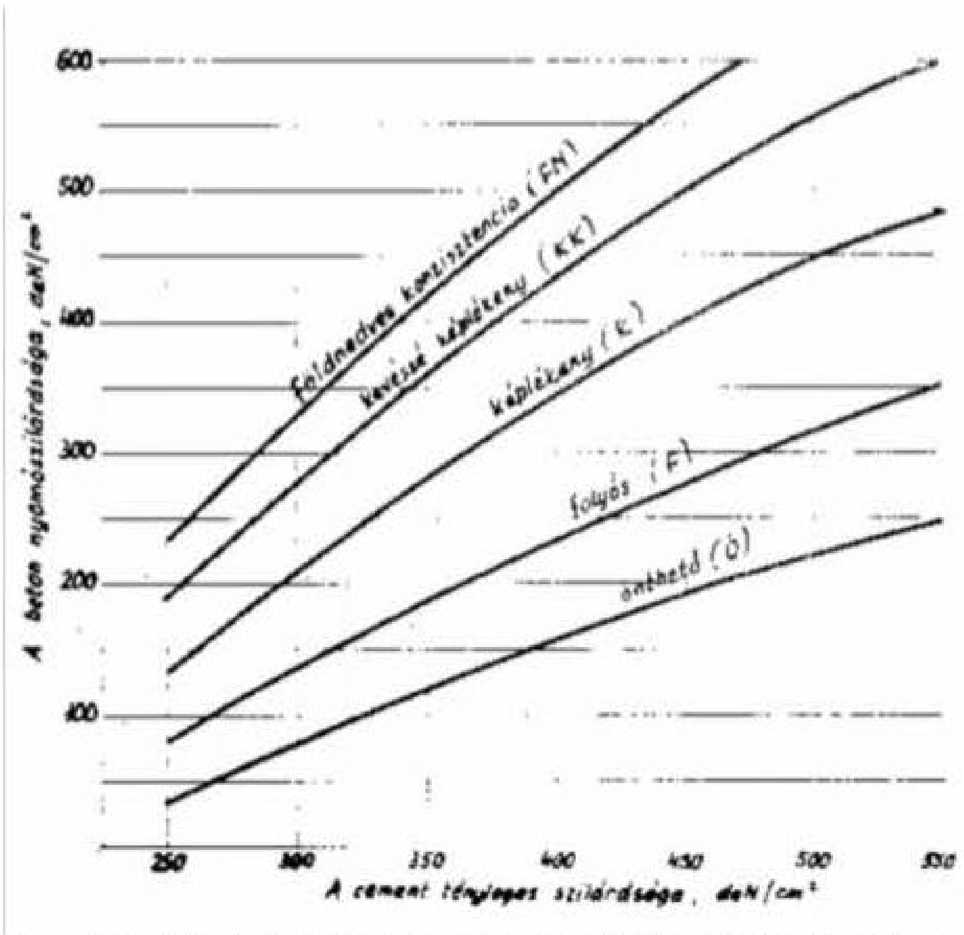
6. ábra: Közepes színvonalú munkahelyen a különböző szilárdságú betonok várható valószínűségi eloszlása



7. ábra: Magas színvonalú munkahelyen a különböző szilárdságú betonok várható valószínűségi eloszlása

A négyzetes szórás várható értékére már több ismerettel rendelkezünk. Gauss-eloszlást feltételezve a szórás elméletileg is számítható, mert ekkor a terjedelem hatodával egyenlő. Részben kísérleti adatok, részben a terjedelem alapján következtetve számos tájékoztató ábrát állítottunk össze a különböző alapanyagok és keverési arányok változása okozta szórás értékeire. Ebből példaként a 8. ábrában mutatjuk be a cementszilárdság változásának a hatását a beton szilárdságára, és ebből a Gauss-eloszlás feltételezésével számított szilárdsági szórás értékeit a 2. táblázatban.

Hangsúlyozni kell, hogy a 2.táblázatban megadott szórások csak akkor érvényesek, ha kizárólag a cement sajátszilárdsága a változó tényező, míg valamennyi más paraméter (cementtartalom, adalékanyag szemmegoszlás, konzisztencia, keverés, tömörítés és utókezelés módja) változatlan.



8. ábra: A beton nyomószilárdsága a cement tényleges szilárdságától függően

2. táblázat: A telített betonok szilárdságának tájékoztató szórásértékei a cement tényleges szilárdsági határértékeitől függően

Konzisztencia	*Beton szilárdsági szórása, kp/cm², ha a cementszilárdság ingadozása*		
	± 15 kp/cm²	*± 30 kp/cm²*	*± 50 kp/cm²*
350-es márkajelű cement esetén			
Földnedves	8	14	25
Képlékeny	6	11	20
Folyós	5	8	15
450-es márkajelű cement esetén			
Földnedves	6	12	20
Képlékeny	5	10	17
Folyós	5	8	15

A 8. ábrához és a 2. táblázathoz hasonlóan az irányelv megadja a cementtartalom, a víztartalom, a telítettség, az adalékanyag szemmegoszlás, a konzisztencia és a tömörítés változásai következtében várható szórásokat. Ezekből megállapítható, hogy a betonszilárdság szórását legnagyobb mértékben az adalékanyag szemmegoszlásának és a tömörítésnek véletlenszerű ingadozása befolyásolja. Az egyes munkahelyek kategorizálásában ezért is kapott olyan kihangsúlyozott szerepet az adalékanyag minősége.

4. A gyártásközi minőségellenőrzés

A beton minőségét az MSZ 4713-4720 szabványok szerint végzett és értékelt minősítő vizsgálatok eredményei igazolják. A végtermék ellenőrzése mellett az irányelv hangsúlyozza a gyártásközi vizsgálatok fontosságát. A gyártásközi vizsgálat segíti ugyanis a beton előállítóját, hogy a betonnal szemben támasztott követelményeket a leggazdaságosabb módon elégítse ki.

A termék (betonkeverék vagy betonszerkezet) előírás szerinti minőségéért a beton előállítója felelős. Ebből következik, hogy a gyártásközi vizsgálat végrehajtását és szervezését a beton előállítója – az adott gyártási feltételekhez illesztve – szabadon választhatja meg.

A gyártásközi vizsgálat célja az, hogy tájékoztassa a beton készítőjét a gyártási folyamat állandóságáról és az előállított beton várható minőségéről. Ennek a tájékoztatásnak az alapján képes a gyártó az általa készített beton esetleges minőségingadozásait javítani, illetve korlátozni. A vizsgálati eredmények birtokában megállapítható, hogy a gyártási folyamat megváltozott-e s ha igen, ennek mik a várható következményei a beton minőségére, mikor változott meg a technológiai folyamat, melyik szakaszban és mennyi ideig állt fenn ez a változás.

A gyártásközi vizsgálatot tehát úgy kell megszervezni és végrehajtani, hogy az a leggyorsabban tájékoztassa a beton készítőjét az esetleges módosítások szükségességéről. Ebből következően pl. a megszilárdult beton 28 napos nyomószilárdságának rutinszerű vizsgálata az aktív gyártásközi ellenőrzésének nem szükségszerű feltétele, viszont feltétele a végtermék minőségellenőrzésének. A gyártásközi vizsgálat sikere a gyorsaságon múlik. Ha azt kívánjuk ellenőrizni, hogy a betonkeverék a keverési aránynak megfelelő mennyiségben tartalmazza-e valamennyi adalékanyag frakciót, a cementet, a vizet és az adalékszereket, csak akkor vizsgálunk kielégítő gyorsasággal, ha az adatok akkor állnak rendelkezésre, amikor a betonkeverék még a keverőgépben van és nem később. Ez ugyanis az az időpont, amikor még be tudunk avatkozni a beton összetételébe. A gyártásközi ellenőrzés végrehajtásában betartandó időpontokat *B. Mather* tanulmánya [15] jól foglalja össze.

A gyártó által alkalmazott ellenőrzési módszer legyen képes szolgáltatni a felhasznált alapanyagok és a friss betonkeverék legfontosabb tulajdonságainak az adatait és a beton ké-

szítési technológiája egyes szakaszainak (mérlegelés, adagolás, keverés, szállítás, bedolgozás és utókezelés) jellemző paramétereit. Az ellenőrzés vezetését olyan szakképzett személyre kell bízni, aki az adott gyártási feltételek által megkövetelt ismeretekben kellően jártas.

Az alkalmazott vizsgálati módszerekben előnyben kell részesíteni a szabványos eljárásokat, de a beton készítője alkalmazhat bármilyen vizsgálati módszert, amely az adott ellenőrzési szinten igazoltan megfelelő.

Összefoglalás

A tanulmány ismerteti az új betonkészítési műszaki irányelv (ÉSZKMI 19-77) kiadásának műszaki és gazdasági előzményeit. Ennek során elemzi a betonnal kapcsolatos szabványokat, valamint a betonkészítés energiamérlegét. Foglalkozik a Műszaki Irányelv összeállításához az Építéstudományi Intézet Betontechnológiai Osztályán végzett laboratóriumi kísérletekkel és tájékoztatást ad a beton szilárdságának valószínű eloszlásáról és szilárdsági szórásáról. Végül ismerteti a gyártásközi ellenőrzés szükségességét.

IRODALOM

[1] *Dr. Ujhelyi, J.*: Összefoglaló jelentés az ÉSZKMI 19—77 I. kötetéhez beérkezett észrevételekről. ÉTI tanulmány, 1976. ápr.

[2] *Dr. Böleskey, E.—Dr. Dulácska, E.*: Statikusok kézikönyve. Műszaki Kiadó, Bp. 1974.

[3] *Dr. Ujhelyi, J.*: A perlyeportlandcementek betontechnológiai vizsgálata. ÉTI jelentés, 1974.

[4] Recommended Principles for the Control of Quality and the Judgement of Acceptability of Concrete. CEB—CIB—FIP—RILEM ajánlás. 1974. dec.

[5] *Dr. Ujhelyi, J.*: Az új szabványnak megfelelő kísérleti portlandcementek betontechnológiai vizsgálata. ÉTI jelentés, 1973.

[6] *Walker, J. H.*: Energy Consumption in Cement and Concrete. Journal of the ACI. 1975. nov.

[7] Beton im Jahre 2000. Bauwirtschaft. 1971. 52.

[8] *Beijer, O.*: Energy Consumption Related to Concrete Structures. Journal of the ACI. 1975. nov.

[9] *Dr. Ujhelyi J.*: Új eredmények és törekvések a betontechnológiában. Magyar Építőipar, 1974. 12.

[10] *Dr. Ujhelyi, J.*: Anyag- és energiatakarékosság a beton készítésében. ÉTI tanulmány. 1976. nov.

[11] *Dr. Ujhelyi, J.—Bálint, J.*: A betonok és habarcsok készítésére vonatkozó műszaki előírás (ME 19 –63) átdolgozásának szempontjai. Magyar Építőipar. 1975. 10.

[12] *Hornik, J.*: A beton képlékenyítő szereinek vizsgálata. ÉTI jelentés. 1975.

[13] *Deák, Gy.-né*: A betonminőség egyenletességére ható tényezők vizsgálata. ÉTI jelentés. 1965.

[14] *Dr. Teran, Zs.*: A betonok szórásának kísérleti vizsgálata. ÉTI adatbank adatainak elemzése. ÉTI jelentés 1976.

[15] *Mather, B.*: How Soon is Soon Enough? Journal of the ACI. 1976. márc.

Dr. Ujhelyi János

A BETONOK SZILÁRDSÁGI SZÓRÁSÁNAK ÉS A SZILÁRDSÁG VALÓSZÍNŰ ELOSZLÁSÁNAK A VIZSGÁLATA

Építéstudományi Intézet Kutatási Jelentés, 1978. december

A mű az 1921.évi LIV. Törvény 67.§-a alapján szerzői jogi oltalom alatt áll, ezért egészét vagy részletét többszörösíteni, közzétenni vagy egyébként forgalomba helyezni csak az Építéstudományi Intézet beleegyezésével lehet.

ÖSSZEFOGLALÁS

A kutatómunka előtt számos, hasonló témakörrel foglalkozó vizsgálatot és tanulmányt dolgoztunk fel. Ezek alapján, valamint az elvégzett laboratóriumi vizsgálatok eredményeképpen az alábbi következtetéseket lehet megfogalmazni:

1. A betonkeverék, ill. a beépített beton nyomószilárdságának a szórása független a beton átlagos nyomószilárdságától. Ha a szórás nagyobb, mint 4 N/mm^2, akkor értéke kizárólag a betonkészítő munkahely színvonalát tükrözi. Ha a szórás 4 N/mm^2-nél kisebb, akkor értékét a cement tényleges kötőerejének a változása is befolyásolja.

2. A betonkeverék, ill. a beépített beton szilárdságának az eloszlása csak akkor közelíthető normális eloszlással, ha az adott üzem egyrészt élesen osztályozott adalékanyagot használ, másrészt olyan szilárdságú betont készít, amely az adottságaihoz (felhasznált cement és adalékanyag, alkalmazott konzisztencia, gépi felszereltség, begyakorlottság, ellenőrzés színvonala stb.) éppen optimális.

3. Átlagos színvonalú betonkészítés esetén a nyomószilárdság eloszlása a kisebb szilárdságú betonok (B50 – B140) tartományában, vagy erősen képlékeny konzisztencia esetén logaritmikusan normális eloszlással közelíthető, míg a nagyobb szilárdságok tartományában (B400 – B560), vagy földnedves konzisztencia esetén a második alsó extremális eloszlással. A közepes szilárdságok (B200 – B280) tartományában normális lehet a nyomószilárdság eloszlása.

4. A nyomószilárdság szórásának és eloszlásának szabatos megállapításához a tételt nagy körültekintéssel kell kiválasztani. Ha tétel elemei nemcsak véletlenszerű változásokat foglalnak magukba, akkor a minősítés során a műszakilag kifogástalan betonokat esetleg rossz minőségűnek ítélhetik. Éppen ezért általában csak az azonos gyártási időszakból (vagy azonos szállítmányból) származó cementtel, az azonos fejtési rétegből (vagy azonos szállítmányból) származó homokos-kaviccsal, azonos gépi berendezésben, változatlan környezeti körülmények közt kevert betonkeverékből azonos módon készített (szállított, tárolt, tömörített utókezelt) és azonos vizsgálógépben tört betonpróbatestekből álló mintákat szabad egy tételnek tekinteni.

5. A beton nyomószilárdságának szórása és eloszlása a betonkeverék, ill. a megszilárdult beton minőségének ellenőrzése során a legritkább esetben vizsgálható, mert általában csak kis elemszámú tétel áll rendelkezésre, vagy pedig a különböző tételek – az utólagos ellenőrzéskor – nehezen választhatók szét. Ezért a betonkeverék matematikai-statisztikai minőségellenőrzéséhez célszerű az elemek legkisebb szilárdságát és testsűrűségét megszabni, továbbá az átlagszilárdságot és a terjedelmet meghatározni.

6. Megtörténhet, hogy statikailag egy minősítési egységként kezelhető szerkezetbe különböző tételekből származó betonkeverékeket dolgoztak be. Ha a szerkezetben ezek a tételek nem választhatók el, akkor a szerkezet teherbírását sem lehet általános feltételezések (pl. normális eloszlással való közelítés) alapján eldönteni, Ilyen esetekben ugyancsak javasolható a matematikai-statisztikai minőségellenőrzést a mérési adatok legkisebb megengedett értékére, továbbá a várható érték és a terjedelem meghatározására alapozni.

1. A BETONSZILÁRÁDSÁG MATEMATIKAI-STATISZTIKAI MINŐSÉGELLENŐRZÉSE

Az *„Építmények teherhordó szerkezeteinek erőtani tervezése”* című MSZ 15022 számú szabványsorozat 1973 évben lépett hatályba. Ez az ún. félvalószínűségi elmélet alapján áll. Ez azt jelenti, hogy az

építményre ható terheket és a teherviselő szerkezetek anyagának határfeszültségeit matematikai-statisztikai értékelés alapján határozz meg, és a szabvány előírásai néhány elvi kérdésben a valószínűségi elméletre támaszkodnak.

Az MSZ 15022 szabványnak a beton minősítését illetően lényeges ismérve az, hogy elsődleges jellemzőnek tekinti a szilárdság gyakorisági eloszlását (sűrűségfüggvényét) is; az eddigi szabványoktól elsősorban ebben különbözik. A szilárdság gyakorisági eloszlását vagy hisztogrammal, vagy gyakorisági diagrammal, vagy sűrűségfüggvénnyel szemlélteti [1].

A minőséget általában egy adott sokaságra kell ellenőrizni. A sokaságot tételnek is szokták nevezni. Egy tételnek lehet tekinteni a vizsgált terméknek (jelen esetben betonkeveréknek vagy betonszerkezetnek) azt a mennyiségét, amelyről az előállítás és a tárolás azonos körülményei folytán egységes minősítést, minőségi értékelést adhatunk. A tétel meghatározását (nagyságát) az MSZ 4720 szabvány fogja tartalmazni, ennek a szabványnak a bizottsági vitája azonban még tart.

A tétel minőségének az elbírálásához szükségesek a szilárdság eloszlásának bizonyos jellemzői. E jellemzők közül elsősorban a tételt alkotó N számú K_i szilárdsági adat átlagát (várható értékét), azaz az átlagos nyomószilárdságot számítjuk ki:

$$\overline{K} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} K_i \qquad (1)$$

A szilárdság jellemző értékei a fenti várható érték körül ingadoznak. Az ingadozás mértékét a négyzetes szórással lehet kifejezni:

$$s = \frac{1}{N}\sqrt{\sum_{i=1}^{N}\left(K_i - \overline{K}\right)^2} \qquad (2)$$

ill. az átlagos nyomószilárdság százalékában kifejezett relatív szórás (vagy szokásos megnevezéssel: variációs tényező):

$$v = \frac{s}{\overline{K}} \times 100 \ \ \% \qquad (3)$$

A várható érték (átlagos nyomószilárdság) azt fejezi ki, hogy a vizsgált beton előállítása során hogyan választották meg a technológia fő paramétereit (pl. az adalékanyag szemeloszlását, a cement fajtáját és mennyiségét, a telítettséget, a víz/cement tényezőt, a konzisztenciát stb.). A szórás azt jellemzi, hogy a gyártás folyamán ezeket a paramétereket milyen mértékben sikerült állandó szinten tartani [2].

Ha a tételt megfelelően választották és a technológiai paraméterek csak véletlenszerűen ingadoznak, akkor a betonszilárdság sűrűségfüggvénye centrális. Az MSZ 5022 a beton szilárdságának sűrűségfüggvényeként a normális (Gauss) eloszlást tételezte fel s hasonlóképpen normális eloszlásúnak vette a terheléseket is. A beton a szabvány szerint akkor megfelelő minőségű, ha a valószínűségi szint 95,45 %, azaz akkor, ha a beton teljes mennyiségének 97,73 %-a nagyobb szilárdságú, mint az előírt küszöbérték. Az ehhez a valószínűségi szinthez tartozó küszöbszilárdság (K_m = a szilárdság minősítési értéke) a K átlagszilárdság és az $s$zórás ismeretében a

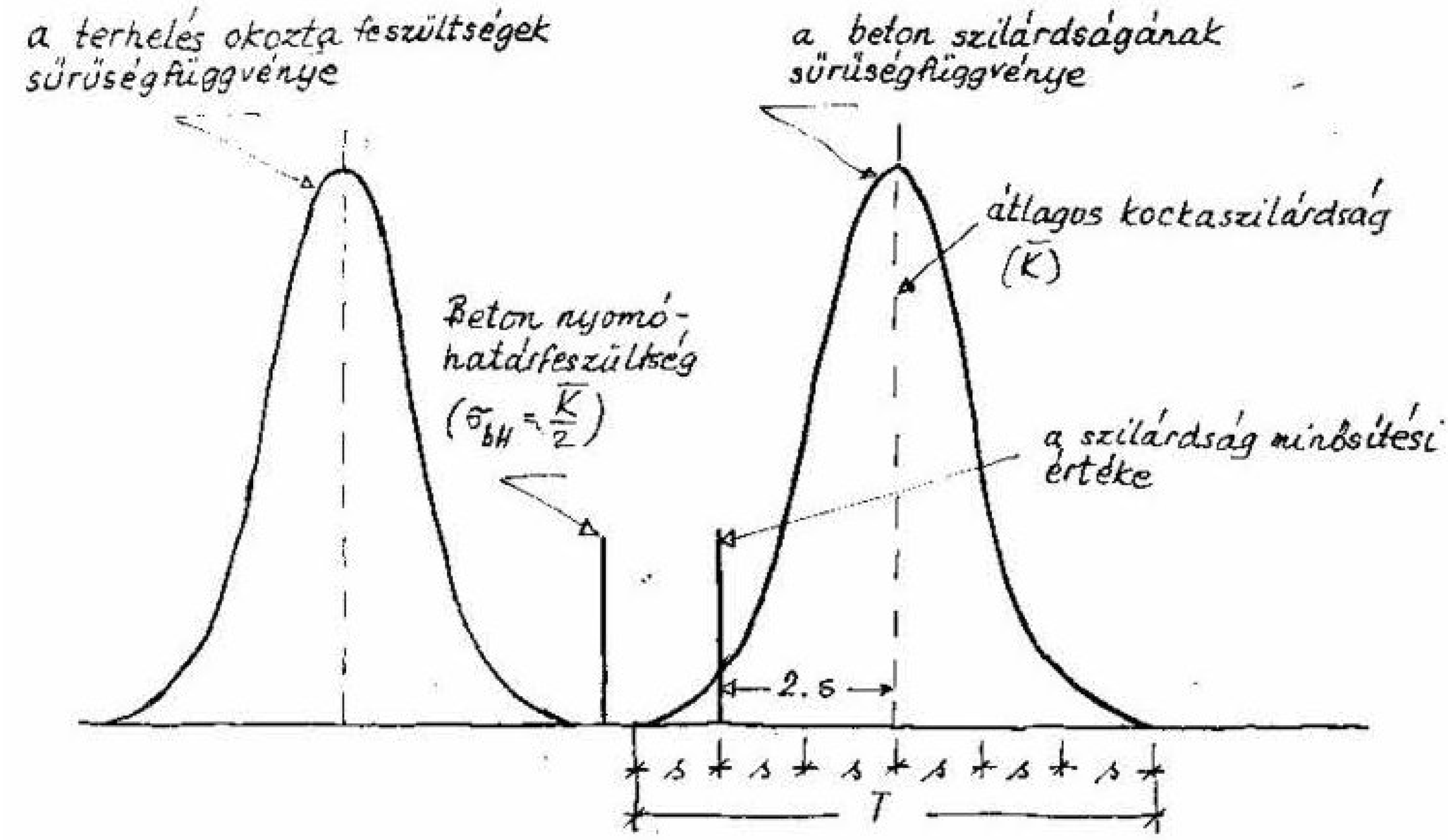
$$K_m = \overline{K} - 2 \times s \qquad (4)$$

összefüggésből számítható. A méretezés alapelve az 1. ábra szerint:

$$\sigma_{bH} \le K_m \le \overline{K} \qquad (5)$$

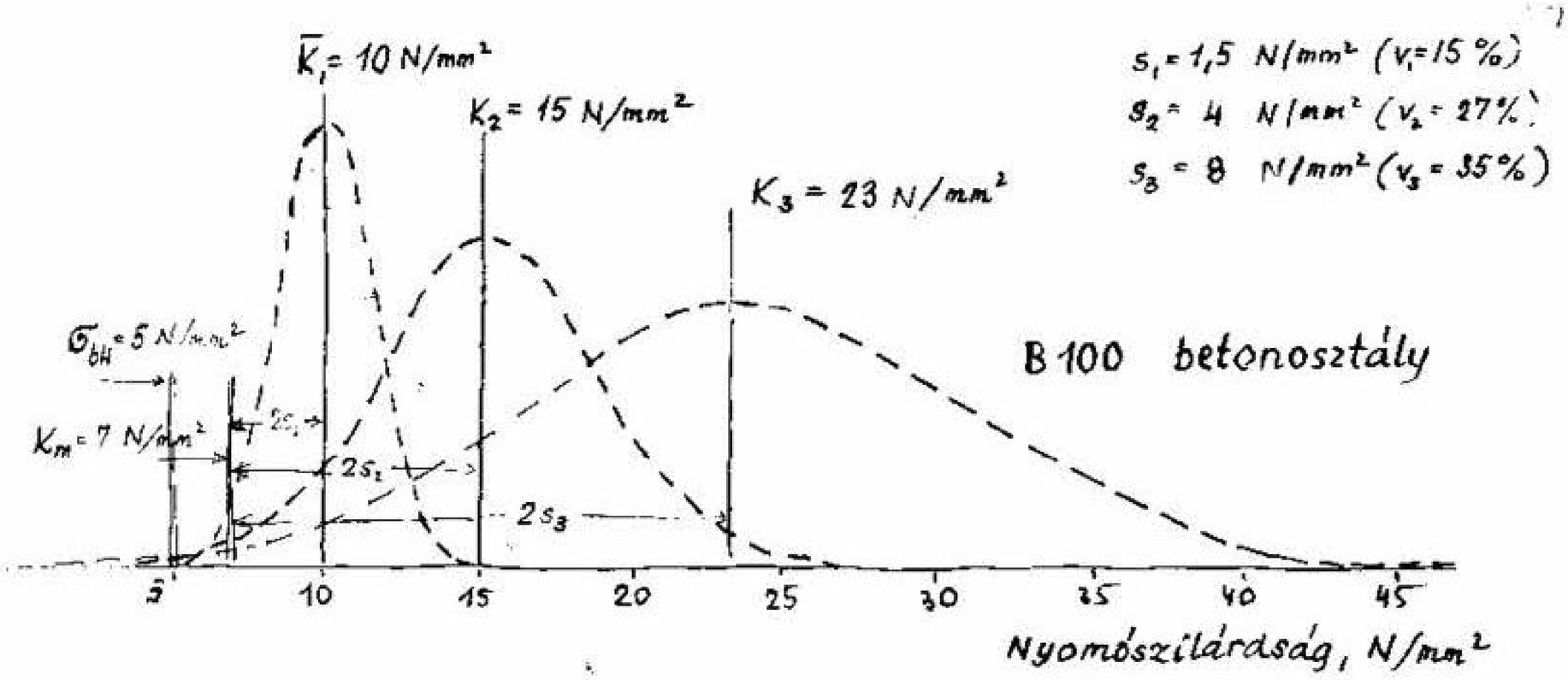
A legnagyobb terhelésből származó betonfeszültség a beton nyomóhatárfeszültségét nem haladhatja meg.

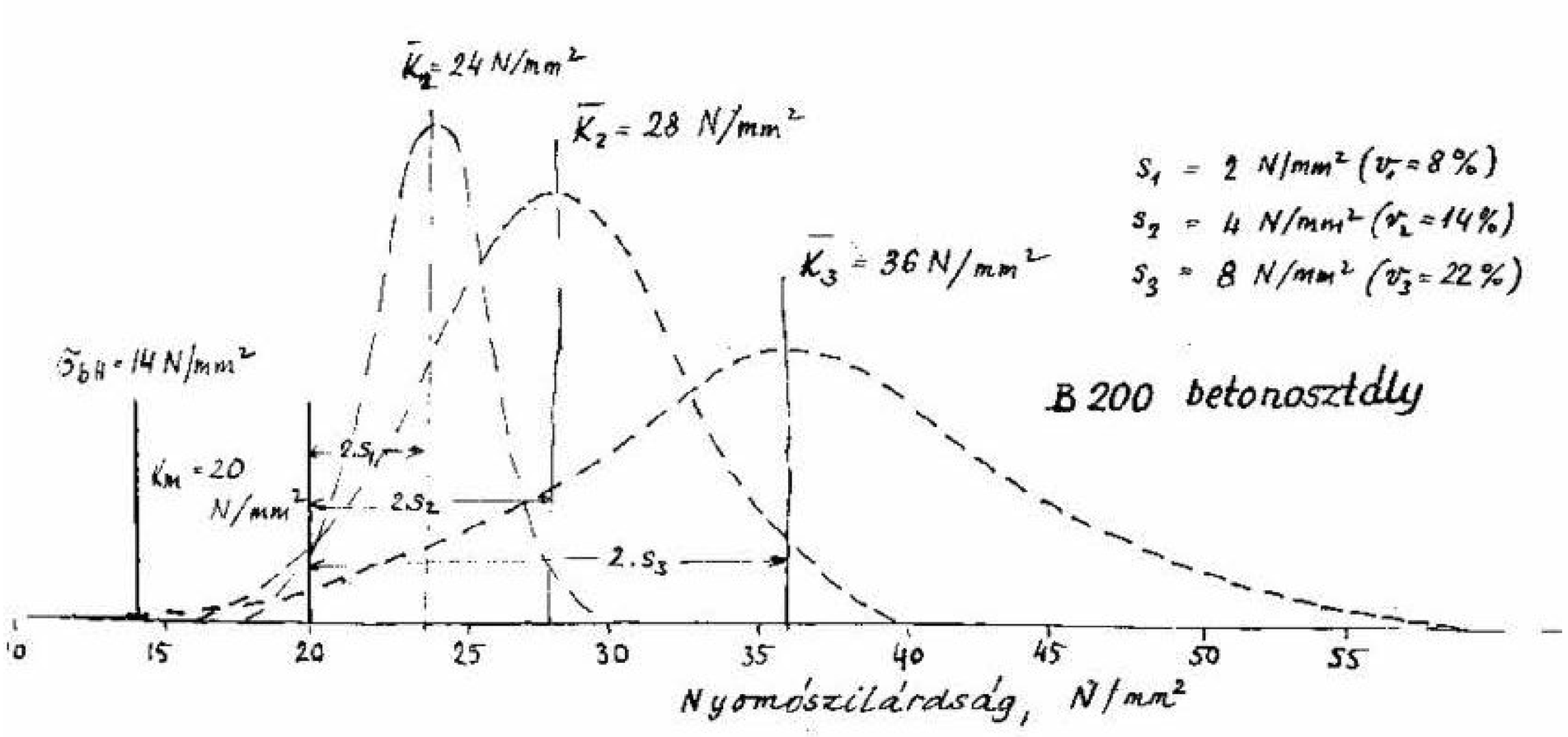
Ha a beton szilárdságának eloszlása normális, akkor növekvő szórású betonból ugyanazt a minősítő szilárdságot csak növekvő átlagszilárdsággal lehet elérni, amint azt a 2. ábra mutatja. Az MSZ 15022 szabványnak megfelelő minőségű betonok a szilárdsági szórástól függően az 1. táblázat szerinti átlagszilárdsággal készíthetők, az ezeknek megfelelő gyakorisági diagramokból néhányat a 3.ábrán tüntettünk fel.

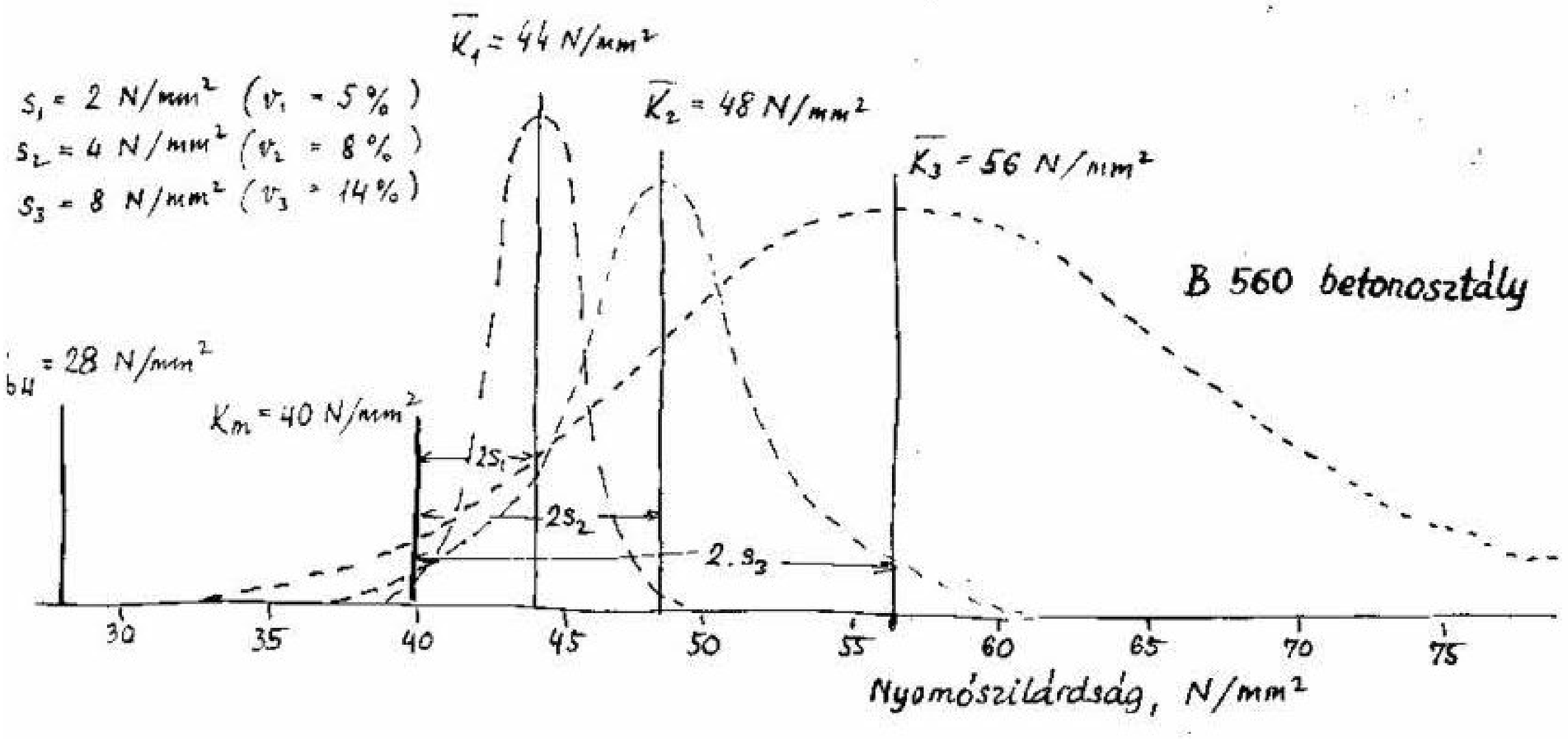


1. ábra: AZ MSZ 15022 alapelve

2. ábra: A különböző szórású, azonos küszöbértékű eloszlások







3. ábra: Adott névleges szilárdságú, de különböző szórású betonkeverékek gyakorisági hisztogramjai, átlagos nyomószilárdságuk, szórásuk és minősítő szilárdságuk

1. táblázat: A betonszükséges átlagos nyomószilárdsága a szilárdság szórásától függően (normális eloszlás)

Szilárdsági jel	Minősítő szilárdság, N/mm^2	Adott szilárdsági szórás (s), N/mm^2 mellett a szükséges átlagos nyomószilárdság (K), N/mm^2							
		0,75	1	1,5	2	3	4	6	8
B50	3,5	5	5,5	6,5	7,5	9,5			
B70	5	6,5	7	8	9	11	13		
B100	7		9	10	11	13	15	19	
B140	10			13	14	16	18	22	26
B200	14			17	18	20	22	26	30
B280	20				24	26	28	32	36
B400	28				32	34	36	40	44
B560	40				44	46	48	52	56

Megjegyzés: az aláhúzott szilárdságok akkor érvényesek, ha a viszonylagos szórás (a variációs tényező) v = 15 %

Ha a beton szilárdságának a gyakorisági diagramja a 3. ábra szerinti bármelyik normális eloszlás, akkor a szórás (*s*) ismeretében a szükséges átlagos nyomószilárdság a (4) összefüggés alapján számítható, mert

$$\overline{K} = K_m + 2 \times s \qquad (6)$$

Az eloszlás azonban nem mindig normális és a szórás nem mindig ismert.

A mért értékek normális (Gauss-féle) eloszlása általában akkor jön létre, ha az értékek kialakulását sok apró, véletlen, egymástól független ok befolyásolja, ezek hatása összegeződik, és ha ezeknek az okoknak a rendszere az időben változatlan. A normális eloszlás sűrűségfüggvénye jellegzetesen harangalakú.

A beton készítési folyamatának az áttekintése révén vizsgáljuk meg, hogy elméletileg teljesülhet-e a betonszilárdságra a normális eloszlás alapfeltétele: a véletlenszerűség.

A betont cementből, adalékanyagból és vízből, továbbá esetenként kiegészítő anyagból és betonjavító adalékszerből készítik. A betonszilárdság csak akkor változhat véletlenszerűen, ha az alapanyagok minősége is véletlenszerűen változik.

A cement szilárdságát az MSZ 4702 szabvány írja elő, a beton összetételét a cement szabványszilárdsága alapján szokták meghatározni, A szabvány a cement szilárdságának a minimális értékét köti meg, azaz pl. *350 pc* azt jelenti, hogy a cementnek a szabvány szerinti habarcspróbatesten megállapított nyomószilárdsága nem lehet kisebb 35 N/mm^2-nél. Nincs azonban megkötve, hogy mennyivel lehet nagyobb. A cementipar jelenlegi adottságaiból következik, hogy pl. a *350 pc* szabványos szilárdsága csak ritkán csökken a 35 N/mm^2 alsó határra és általában 36-45 N/mm^2 között ingadozik, néhány esetben 45 N/mm^2-nél is nagyobb.

Ha a beton összetételét a 350 pc nyomószilárdságának alsó határára állapítják meg s a cement tényleges szilárdsága éppen annak megfelelő, azaz 35 N/mm^2, akkor pl. I. szemeloszlású, d_{max} = 16 mm adalékanyaggal készített, kissé képlékeny, telített beton 28 napos átlagos nyomószilárdsága 35 N/mm^2 értéket érhet el. Ha azonban az éppen felhasznált 350 pc cement tényleges nyomószilárdsága 45 N/mm^2, akkor változatlan összetétellel a beton szilárdsága is kb. 45 N/mm^2-re emelkedhet.

A cement tényleges szilárdságának a változása nem független az évszaktól. Tapasztalataink szerint mikor a cementfogyasztás nagy (nyáron), akkor a cement tényleges szilárdsága viszonylag alacsonyabb, mert a korlátozott őrlési kapacitás mellett csak durvább őrlésű cementtel lehet a keresletet kielégíteni. Ezzel szemben télen kevesebb cementre van szüksége az építőiparnak, több idő áll rendelkezésre a cement őrléséhez, ezért a cement szabványos szilárdsága magasabb. A cement szilárdságát befolyásoló okok tehát az időben változhatnak, nem feltétlenül véletlenszerűek.

Fentiekből következően a beton névleges szilárdságához képest a tényleges szilárdság eltérése – ha a beton szilárdságát kizárólag a cement tényleges szilárdságának a különbözősége miatt változna – nem véletlenszerű, hanem mindig pozitív irányú. Mindaddig elvileg sem szabad tehát a beton szilárdságának véletlenszerű változását feltételezni a cement hatására, amíg a cementszabvány nem írja elő, nem köti meg a cement szilárdságának megengedett szórását.

A betont általában homokos kavicsból készítjük. A homokos kavicsnak a beton szilárdságát legjobban befolyásoló két jellemzője a szemmegoszlás és a szennyezettség. A szemmegoszlás legfontosabb paramétere a finomhomok (általában az 1 mm alatti szemcsék) mennyisége. Szennyezettségen jelen esetben az agyag-iszap tartalmat értjük.

A beton összetételének előírásakor mind a szemmegoszlásra, mind a szennyezettségre bizonyos megkötéseket tételezünk fel, azaz előírjuk a finom homok és az agyag-iszap tartalom megengedett legnagyobb értékét.

A betonkészítő munkahelyek jelentős részében nyílt depóniában tárolják az adalékanyagot, még akkor is, ha az szemcsecsoportokra osztályozott. Tételezzük fel azt az optimális esetet, amikor a depóniák tökéletesen el vannak választva egymástól és a szemcsecsoportok élesen vannak osztályozva (pl. 0-4, 4-8 és 8-16 mm-es frakciókra), továbbá az agyag-iszap tartalom éppen a megengedett (legfeljebb 3 térf.% *P* jelű termék). Ez esetben az adalékanyag minőségének ingadozását csak a depóniaképzés feltételeiből törvényszerűen képződő szétosztályozódás határozza meg: a durvább szemek a depónia aljára és szélére halmozódnak, a finomabb szemek a depónia tetején és belsejében dúsulnak fel. Ebből következően depónia felhasználásának a kezdetén a 0-4 mm-es frakcióból először a durvább anyag jut a keverőgépbe, majd a depónia kitermelésének előrehaladtával fokozatosan növekszik a finomszemek részaránya. Ha a depónia száraz, akkor az agyag-iszap szennyezettség a halmazban egyenletesen helyezkedik el. Ha azonban eső éri, akkor az agyagszemek a vízzel együtt lefelé vándorolnak, a depónia alján az agyagtartalom növekszik, elérhet 6 térf.%-ot is, míg a depónia tetején nem marad agyag. Ennek következtében a depónia kitermelésének előrehaladtával fokozatosan nőhet az adalékanyag szennyezettsége.

A beton szilárdságának az ingadozása ezért – ha a beton minősége kizárólag az adalékanyag minőségének fent leírt eléréseitől függően változik– nem véletlenszerű, a befolyásoló okok rendszere az időben nem változatlan, hanem meghatározhatóan negatív irányú.

A normális eloszlás általános feltételezésének tarthatatlansága még a következő megfontolások alapján is belátható.

A szilárdság valószínűségi eloszlását egyrészt a beton nyomószilárdsági vizsgálata során észlelt alakváltozási jellemzők (rideg vagy plasztikus törés), másrészt a beton készítésekor az egyes paraméterek változása határozza meg. Ha a beton minden tekintetben azonos minőségű, akkor a belőle készített próbatestek szilárdságának sűrűségfüggvényét az alakváltozási jellemzők döntik el. *Korda J.* mutatta ki, hogy plasztikus alakváltozás estén az eloszlás kissé jobbra ferdülő (Pearson-típusú eloszlás) [3], míg *Mistéth E.* részben rideg, részben plasztikus alakváltozást feltételezve határozta meg a valószínűségi eloszlás normálistól eltérő alakját [4].

Teljesen azonos minőségűnek azonban a gyakorlatban legfeljebb egyetlen keverés során készített beton tekinthető. Így több keverés esetén a készítési technológia paramétereiben bekövetkező változások válnak lényegessé.

A kisszilárdságú betonok készítésekor általában megelégszünk osztályozatlan homokos kavics felhasználásával, amelynek szemmegoszlása a felső határgörbének megfelelő (azaz homokdús). Az előírt cementtartalom csekély (megközelítheti a megengedett minimális 125 kg/m^3 értéket), mértékét elsősorban a bedolgozhatóság, a beton összetartóképessége szabja meg. Az előírt konzisztencia legtöbbször képlékeny, a cementpép mennyisége sokkal kevesebb, mint mi az adalékanyag hézagtartalmának kitöltéséhez és a szemcsefelületek bevonásához maradéktalanul szükséges (telítetlen beton, cementpéphiány kb. 100 liter/m^3). Mindez azt jelenti, hogy a beton előírt összetétele valamennyi szempontból a még megengedhető legkedvezőtlenebb.

Bár a gyakorlatból ismert, hogy a beton készítésekor gyakran több paraméter is kedvezőtlen lehet, mégis feltételezhető, hogy a technológiai változások a kis szilárdságú betonok esetében főleg pozitív irányban hatnak. Az osztályozatlan adalékanyag halmazban a finomhomok tartalom vagy a megengedett felső határon van, vagy annál kevesebb. A cementtartalom általában nagyobb az előírtnál, ami egyrészt túlzott biztonságra törekvés eredménye, másrészt annak a következménye, hogy az adalékanyag nedvességtartalmát a mérlegeléskor nem veszik figyelembe. A beton konzisztenciáját eleve képlékenyre tervezik, a sovány betont pedig nem lehet túlvizezni, mert szétosztályozódik. Ezek miatt a kis szilárdságúra tervezett betonkeverék szilárdságának sűrűségfüggvénye nem lehet centrális, hanem feltételezhetően a logaritmikusan normális eloszlást közelíti meg (lásd 4. ábra, középső rajz). Ha az ilyen eloszlású beton átlagos nyomószilárdsága és szórása azonos a normális szilárdságú betonéval (lásd 4. ábra, felső rajz), akkor a (4) összefüggésből számított küszöbszilárdság még a tényleges minimális szilárdsági értéknél is kevesebbre adódhat, azaz a betonszerkezet túlzott biztonsággal készülhet.

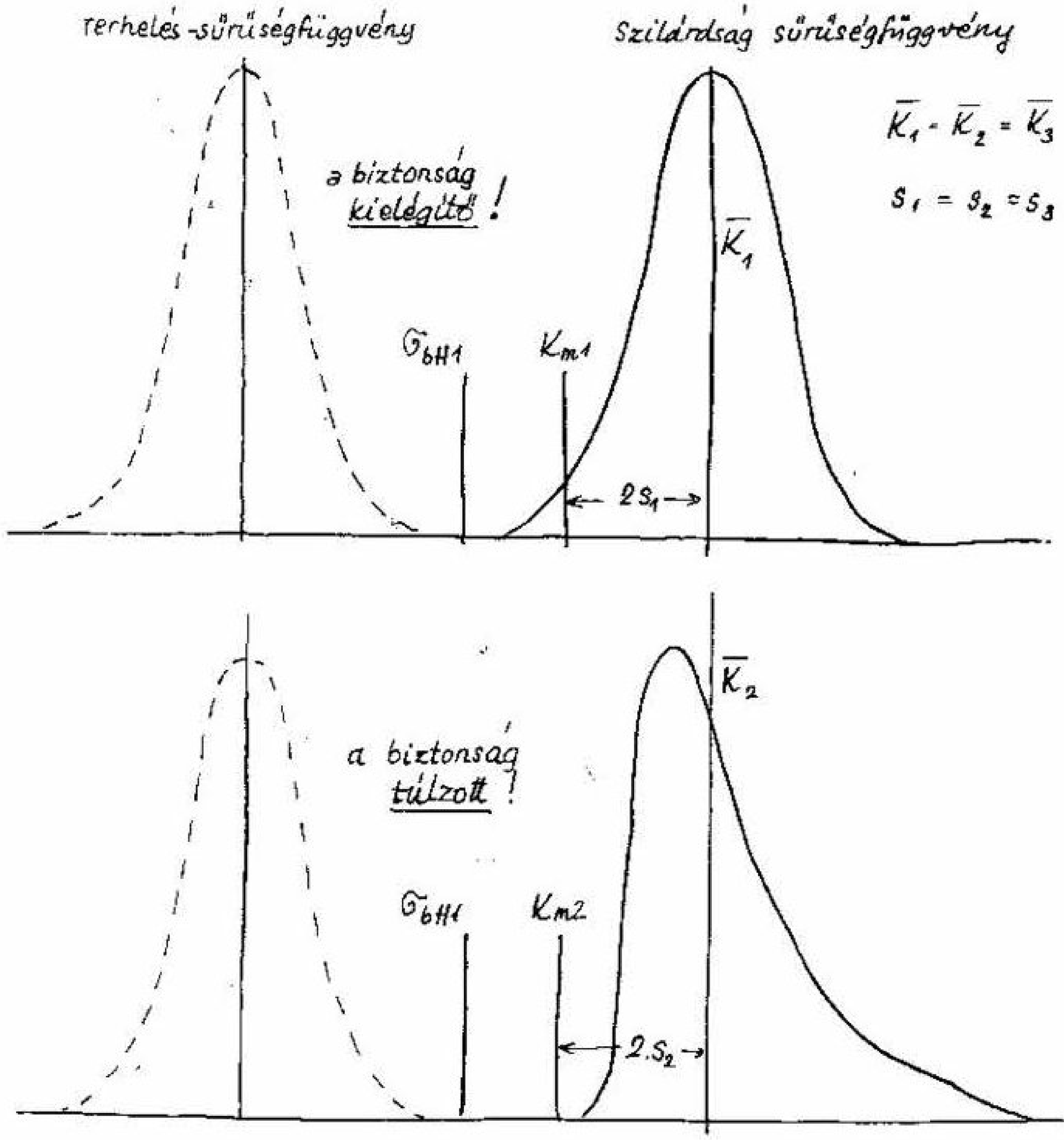
A nagyszilárdságú betonok esetében viszont a beton összetételét és készítését optimálisra tervezik. az adalékanyag előírt szemmegoszlása az alsó határgörbét közelíti meg. Ezt a feltételt azonban vagy pontos szemmegoszlásban, vagy élesen osztályozott frakciókban szállított homokos kaviccsal lehet csak kielégíteni. A beton konzisztenciáját az adott szerkezet geometriája (méretek, vastávolság) és a tömörítés által megengedett legszárazabbra tervezik. A betont gondosan kell bedolgozni, a friss beton pórustartalma 1 %-nál nem lehet nagyobb. Mindez azt jelenti, hogy a beton előírt összetételét és készítési módját valamennyi szempontból az optimálisra tervezik. Ha a készítési paraméterek megváltoznak, akkor ez a változás általában kedvezőtlen irányban hat. Emiatt a nagyszilárdságúra tervezett betonkeverékek szilárdságának a sűrűségfüggvénye feltételezhetően nem lesz normális, hanem a logaritmikusan normális eloszlás tükörképéhez válik hasonlóvá, azaz jobbra ferdül (lásd 4. ábra, alsó rajz). Ha az ilyen eloszlású betonok átlagszilárdsága és szórása azonos a normális eloszlásúéval (4. ábra, felső rajz), akkor a (4) összefüggésből számított küszöbszilárdság a valóságosnál lényegesen nagyobbra adódik, azaz a betonszerkezet biztonsága – a számítás megnyugtató eredménye ellenére – esetleg nem lesz kielégítő.

A „kis" és a „nagy" szilárdság számszerű értéke valószínűleg a betonkészítő munkahely színvonalától függően változik. Ha egy családi ház beton és vasbeton szerkezetét néhány segédmunkás a helyszínen készíti talicskával kimért mennyiségű homokos kavicsból, zsákra (vagy félzsákra) mért cementből, locsolóval szemre hozzáöntött vízből és kézzel keverve, akkor ezen a munkahelyen már a B100 minőségi osztályú betont is „nagy" szilárdságúnak lehet feltételezni, mármint a gyakorisági eloszlás várható alakja szempontjából. Ha ugyanakkor automata üzemben finomosztályozással (pl. Rheax-berendezésben) előkészített homokos kavicsból, begyakorlott szakmunkásokkal, iparszerű beton-sorozatgyártás folyik, akkor itt esetleg a B560 minőségi osztályú beton is csak „közepes" szilárdságú [5].

Ha azt tételezzük fel, hogy a hazai betonkészítő ipar általában logaritmikusan normális eloszlással készíti a B50, B70 és B100 minőségi osztályú betonokat, akkor az 1. táblázat adatait lényegesen módosítani kell. A figyelembe vehető értékeket a 2. táblázatban foglaltuk össze.

2. táblázat: A beton szükséges átlagos nyomószilárdsága, ha a szilárdsági eloszlás sűrűségfüggvénye logaritmikusan normális

Szilárdsági jel	*Minősítő szilárdság* K_m , *N/mm²*	*Szükséges átlagos nyomószilárdság (K), N/mm², ha a szilárdság szórása (s), N/mm²*							
		0,75	*1*	*1,5*	*2*	*3*	*4*	*6*	*8*
B50	3,5	4,2	4,5	5	5,5	6,5			
B70	5	5,8	6	6,5	7	8	9	11	
B100	7			8,5	9	10	11	13	15



4. ábra: Azonos szórású és átlagszilárdságú, de eltérő eloszlás-típusú betonok sűrűségfüggvényei

Az 1. és 2. táblázatok összevetése azt mutatja, hogy kellő biztonságú betonszerkezetek gazdaságos készítésében milyen lényeges szerepe van a szilárdság valószínűségi eloszlása (tapasztalati sűrűségfüggvénye) korrekt felvételének: pl. B100 beton szükséges átlagszilárdsága $s = 4\ N/mm^2$ és normál eloszlás esetén (1. táblázat) 15 N/mm^2, míg log. normál eloszlás esetén ugyanilyen szórás mellett csak 11 N/mm^2.

A következőkben néhány erre vonatkozó bel- és külföldi tapasztalatot foglalunk össze.

IRODALMI ADATOK A BETON SZILÁRDSÁGÁNAK VALÓSZÍNŰ ELOSZLÁSÁRA

Annk ellenére, hogy a méretezésben világszerte fokozatosan áttérnek a determinisztikus megközelítésről a valószínűségi elméletre, mégis igen kevés irodalmi adat található a beton szilárdságának tapasztalati sűrűségfüggvényére. A szilárdság egyenletességéről, a szórásról, már régóta jelentek meg tanulmányok. *Himsworth* ismertette elsőként a különböző felkészültségű munkahelyeken várható szilárdsági szórás mértékét [6]. Adatait a 3. táblázat foglalja össze. *Himsworth* ugyanakkor nem foglalkozik a várható eloszlásokkal.

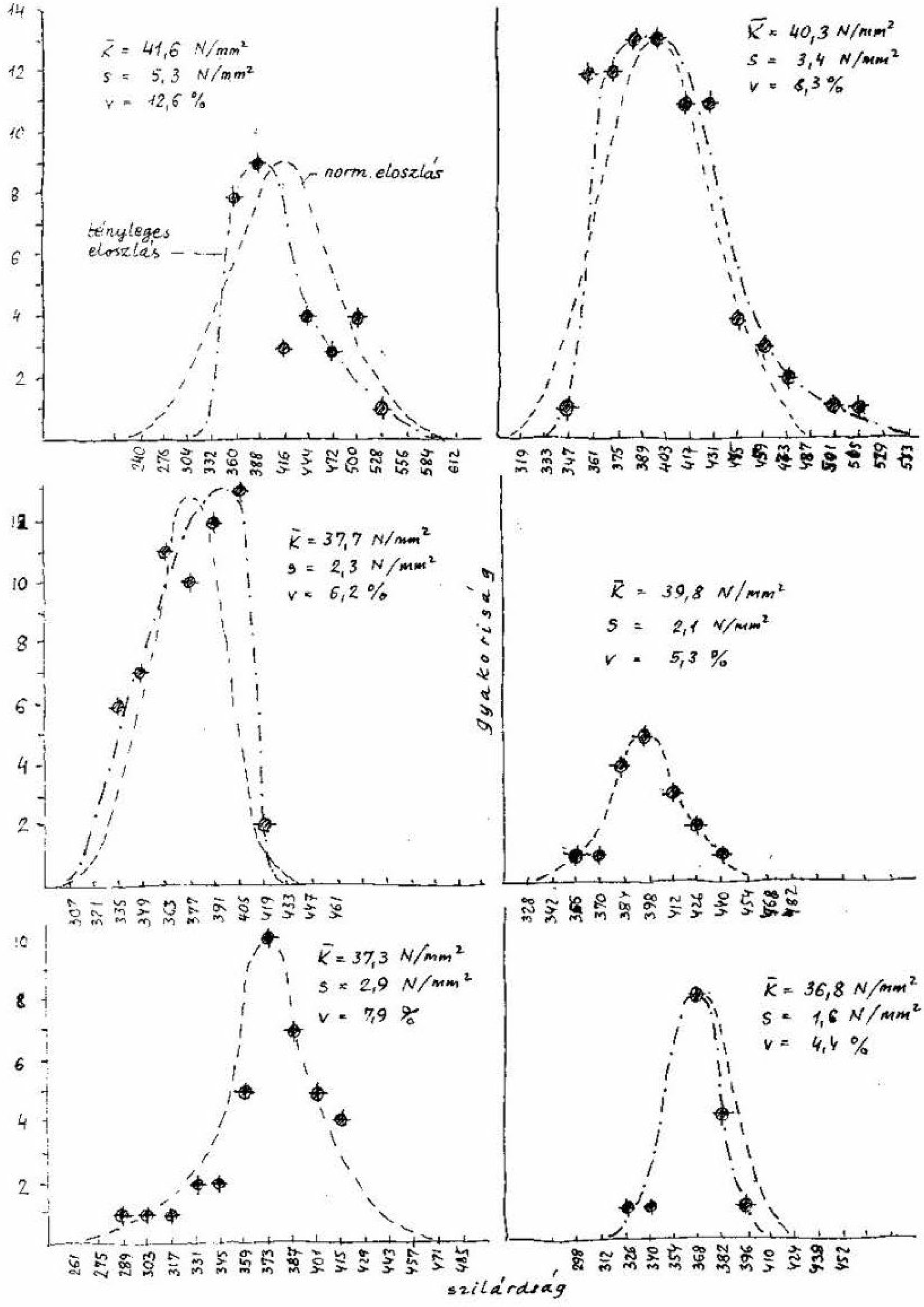
3. táblázat: Különböző felkészültségű munkahelyeken várható betonszilárdsági szórás [6]

Kategória	*Az ellenőrzés foka*	*Szórás, N/mm^2*
Kitűnő	Szigorú (a víz/cement tényező rendszeres ellenőrzése)	2,8
Nagyon jó	Kevésbé szigorú, de lelkiismeretes, gondos betonkészítés	3,5
Jó	Kisebb számú rendszeres ellenőrzés. Szakszerű munka	4,2
Megfelelő	Átlagos színvonalú munka, átlagos ellenőrzés	5,6
Gyenge	Csekély, vagy semmilyen ellenőrzés, gondatlan munka	7
Rossz	Alacsony színvonal, ellenőrzés nélkül	8,4
Nagyon rossz	Lelkiismeretlen, szakszerűtlen, ellenőrzés nélküli munka	10

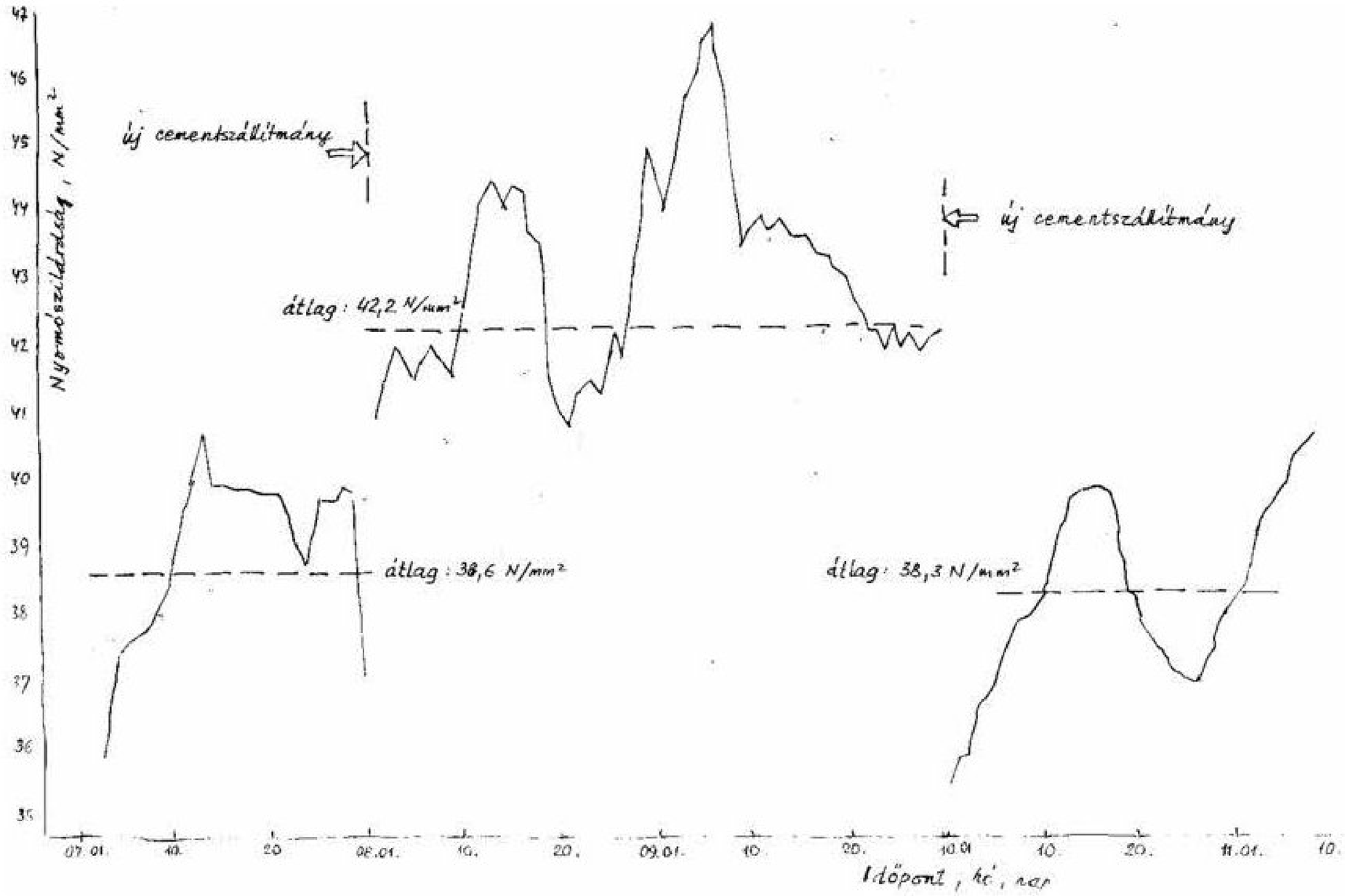
Úgy tűnik, hogy szinte magától értetődőnek találta mindenki: a beton szilárdságának a változása csupán a technológiai paraméterek véletlenszerű változásától függ, ezért a szilárdság normális valószínűségi eloszlása joggal feltételezhető. Vitathatatlan az is, hogy a matematikai-statisztikai módszerek igen egyszerű számítási eljárást igényelnek akkor, ha az eloszlás normális. Ezért is választották előszeretettel a beton szilárdság vizsgálatának statisztikai értékeléséhez ezt az eloszlástípust. Talán ez az oka annak is, hogy a sűrűségfüggvények alaposabb elemzésére még az alább ismertetett tanulmányok közül is csak kevés tér ki.

Los Angelesben (USA) 1973-74 évben építették fel a World Trade Center épület-együttesét: hatszintes parkológarázst és 8 szintes irodaépületet. A beépített beton teljes mennyisége 40000 m^3 volt. *Liljestrom* és *Polivka* dolgozta fel a betonmunkák rendszeres minőségellenőrzése során nyert eredményeket [7]. A betonszerkezeteket transzportbetonból készítették, a kötőanyag duzzadó (zsugorodás-kiegyenlítő) cement volt. A szilárdságvizsgálatok eredményeiből szerkesztett gyakorisági diagramok az 5. ábrán láthatók. Összesen 247 mintát ellenőriztek; a legkisebb mintaszám 15, a legnagyobb mintaszám 84 volt. A hat diagram mindegyike eltérő összetételű betonok eredményeit foglalja össze. Az ábrák azt mutatják, hogy a sűrűségfüggvények a normális eloszlást két kivétellel jól megközelítik; az első két ábrán a szilárdság tényleges eloszlását inkább logaritmikusan normálisként lehet értelmezni.

A tanulmány abból a szempontból is figyelemreméltó, hogy az együtt minősíthető vizsgálati eredményekre – azaz a tétel kiválasztására – is tartalmaz adatokat. Egyes keverékek szilárdságát ugyanis naponta ellenőrizték s ezeket az adatokat feldolgozva állapították meg, hogy ha új cementszállítmány érkezett, akkor – bár azonos gyárban készített, azonos márkajelű cementfajta volt – a beton szilárdsága jellegzetesen megváltozott. Az egyik betonkeverékre kapott adatokat a 6. ábra mutatja be.



5. ábra: A Los Angeles-i World Trade Center betonszerkezeteinek minőségfüggvényei



6. ábra: Az 5. ábra szerinti betonok egyik keverékének naponkénti vizsgálata

Az ábra szerint július hónapban, amikor az első cementszállítmányt használták fel, a beton nyomószilárdságának átlaga 38,6 N/mm^2, terjedelme 40,8 – 35,9 = 4,9 N/mm^2 volt. A második szállítmány cementből készített betonkeverékek szilárdságának átlaga 42,2 N/mm^2, terjedelme 46,7 – 40,9 = 5,8 N/mm^2 lett. Ha a július-augusztus hónap adatait együtt értékelnénk (lásd 6. ábra), akkor a szilárdság átlaga 40,4 N/mm^2, terjedelme 46,7 – 35,9 = 10,8 N/mm^2 értékűre adódna.

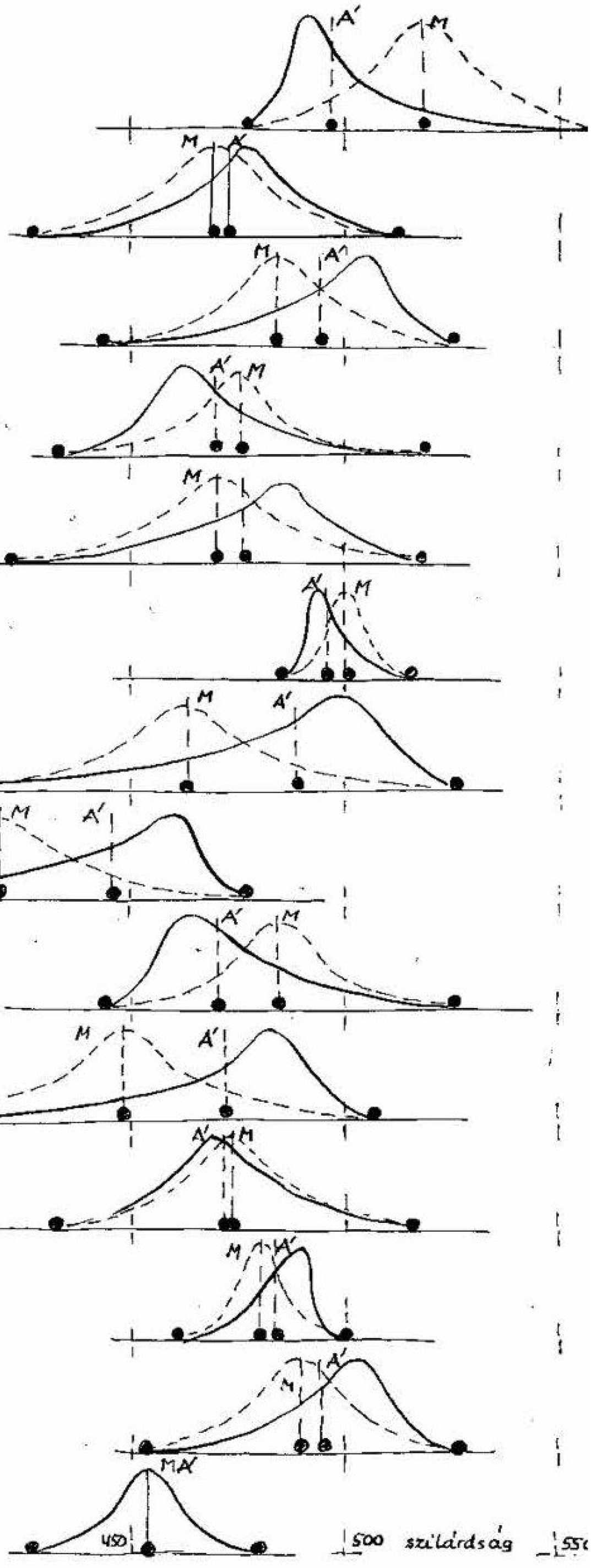
Ha a megbízhatósági intervallumot (a valószínűségi szintet) az MSZ 15022 szerint 95,45 %-ra választjuk, akkor a minősítő szilárdság a különböző értékek esetén a következőkre adódik:

- július hónap külön értékelve: $\overline{K}$ = *38,6* N/mm^2 és *s* = *1* N/mm^2, azaz $K_m = 38{,}6 - 2 \times 1 = 36{,}6$ N/mm^2;
- augusztus hónap külön értékelve: $\overline{K}$ = *42,2* N/mm^2 és *s* = *1,2* N/mm^2, azaz $K_m = 42{,}2 - 2 \times 1{,}2 = 39{,}8$ N/mm^2;
- július-augusztus hónap együtt értékelve: $\overline{K}$ = *40,4* N/mm^2 és *s* = *2,2* N/mm^2, azaz $K_m = 40{,}4 - 2 \times 2{,}2 = 36{,}0$ N/mm^2.

A fentiek szerint tehát a július hónapban külön értékelt adathalmazban a minősítő szilárdság nagyobb, mint július-augusztus együtt értékelése esetén annak ellenére, hogy utóbbi adathalmaz átlagos nyomószilárdsága nagyobb.

Egy kanadai vizsgálat során 15 megépített épület 1145 betonoszlopának ultraszónikus vizsgálati eredményeit használták fel a beton szilárdsági szórásának a jellemzésére [8]. A vizsgálat eredményeiből a tanulmány a minimális és a maximális értékeket, azaz a terjedelmet, az átlagértékeket és a szórásokat adja meg. A 15 épületből ötnél $v < 10$ % relatív szórást találtak, ez kitűnő betonkészítésre utal. Ötnél a variációs tényező $10\ \% < v < 15\ \%$ volt, itt jó színvonalú volt a beton készítése. Háromnál $15\ \% < v < 20\ \%$ értéket találtak, ami még kielégítő színvonalat tükröz. Kettőnél $25\ \% < v < 30\ \%$ variációs tényező alapján a kivitelezést elfogadhatatlanul gyengének kell minősíteni. A tanulmányban csak két épület adataiból szerkesztették meg a gyakorisági hisztogramot, de ezek, valamint a többi épületre megadott adatok alapján (min. és max. értékek, átlagértékek, szórások) a 7. ábrán megszerkesztettük a tapasztalati sűrűségfüggvények közelítő alakját.

M	Min	Max	Átlag szilárdság*	Szórás σ%	
519	476	562	498	18,7	①
470	427	512	473	20,4	②
484	443	525	495	22,2	③
476	432	519	469	15,2	④
470	422	518	476	23,3	⑤
500	484	516	496	7,1	⑥
463	400	526	488	28,6	⑦
419	361	477	446	26,5	⑧
484	443	525	470	13,5	⑨
449	390	507	472	16,6	⑩
473	430	515	472	13,5	⑪
480	459	500	483	9,8	⑫
489	452	526	493	16,3	⑬
454	427	481	454	15,8	⑭



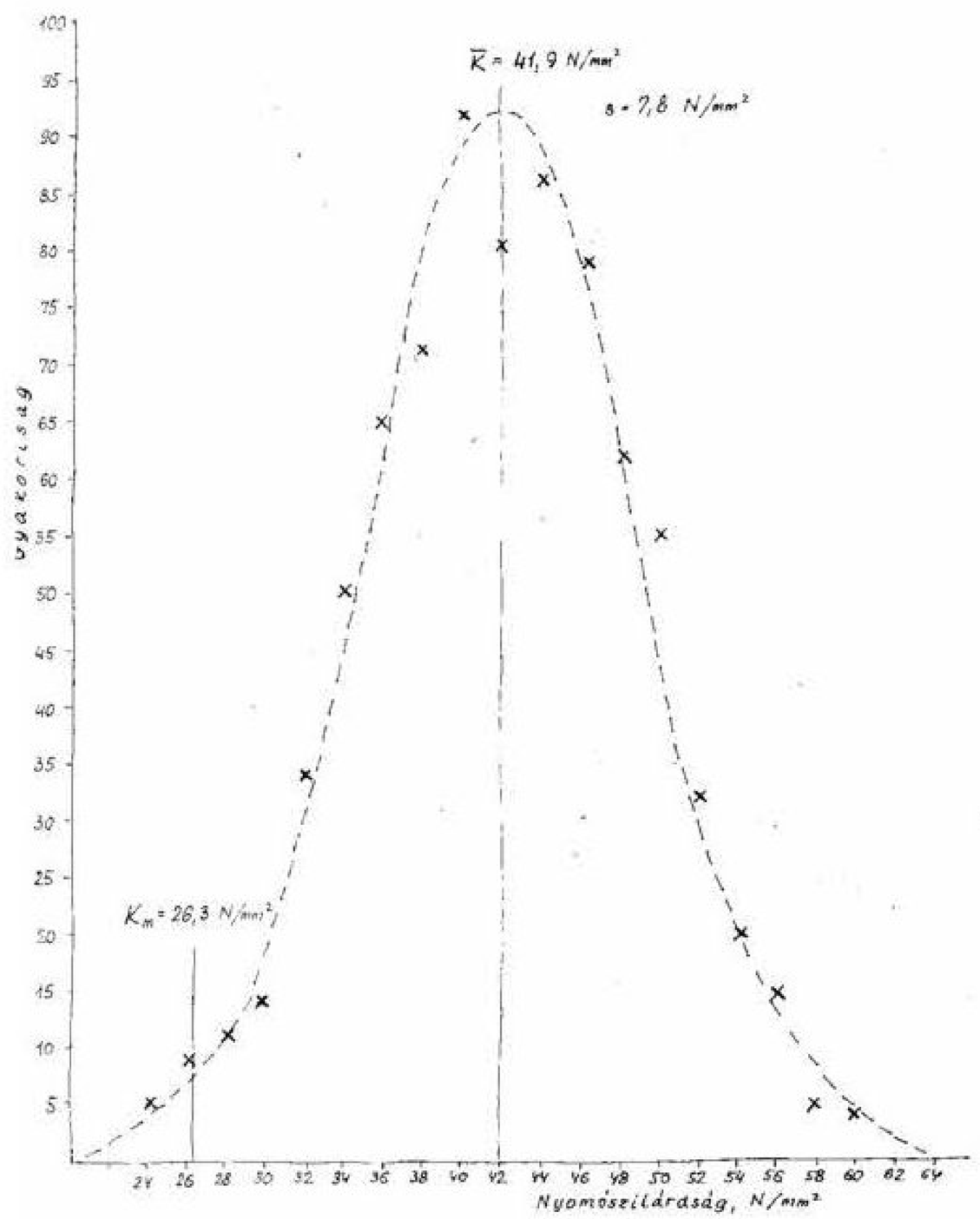
* terjedési sebesség × 10^{-1}

7. ábra: Kanadai vizsgálati eredmények [8] *feldolgozása*

A gyakorisági diagramokban „*A*"-val jelöltük a szilárdsági átlagértékeket, „*M*"-mel a terjedelem felét. Egy épületet kihagytunk, ahol a mérési adatok 149-515 között változtak, mert ez nyilvánvalóan durva hibára utal. Megjegyezzük, hogy a tanulmány a terjedési sebességet adta meg, a szilárdságra való átszámítás nélkül. A 7. ábra táblázatában „*szilárdság*" alatt a terjedési sebesség tizedrésze értendő. A tanulmány egyébként hangsúlyozza, hogy a beton szilárdsága és terjedési sebessége közötti általános korreláció meghatározására vonatkozó erőfeszítések nem voltak sikeresek; minden egyes betonösszetételre külön kellene az átszámítási tényezőket meghatározni. Ha azonban statisztikai számításokat kívánunk végezni, akkor a szórás, a variációs tényező és a gyakorisági diagram a terjedési sebességek közvetlen összehasonlításával – a gyakorlat számára kellő pontossággal – meghatározható.

Figyelemre méltó a tanulmánynak a terjedelem, a szórás és azt átlagértékek értékelése alapján tett megállapítása. Abban az esetben, ha a beton szilárdságának a sűrűségfüggvénye normális eloszlásra utal (az átlagérték a terjedelem felezővonalkába esik), akkor a kivitelezés (betonkészítés) irányítását szakszerűnek, megfelelőnek ítéli. Ha pedig a sűrűségfüggvény nem centrális (pl. a 7. ábra szerinti 7. sorszámú vizsgálati adatok), akkor ezt a kivitelezés szakszerűtlen irányításának tulajdonítja.

Úgy véljük, hogy a tanulmánynak ez a megállapítása alátámasztja az 1. fejezetben ismertetett véleményünket: a beton szilárdságának a sűrűségfüggvénye attól függően centrális vagy ettől eltérő, hogy az adott betonkészítő munkahely alkalmas-e az előírt szilárdságú beton optimális előállítására.

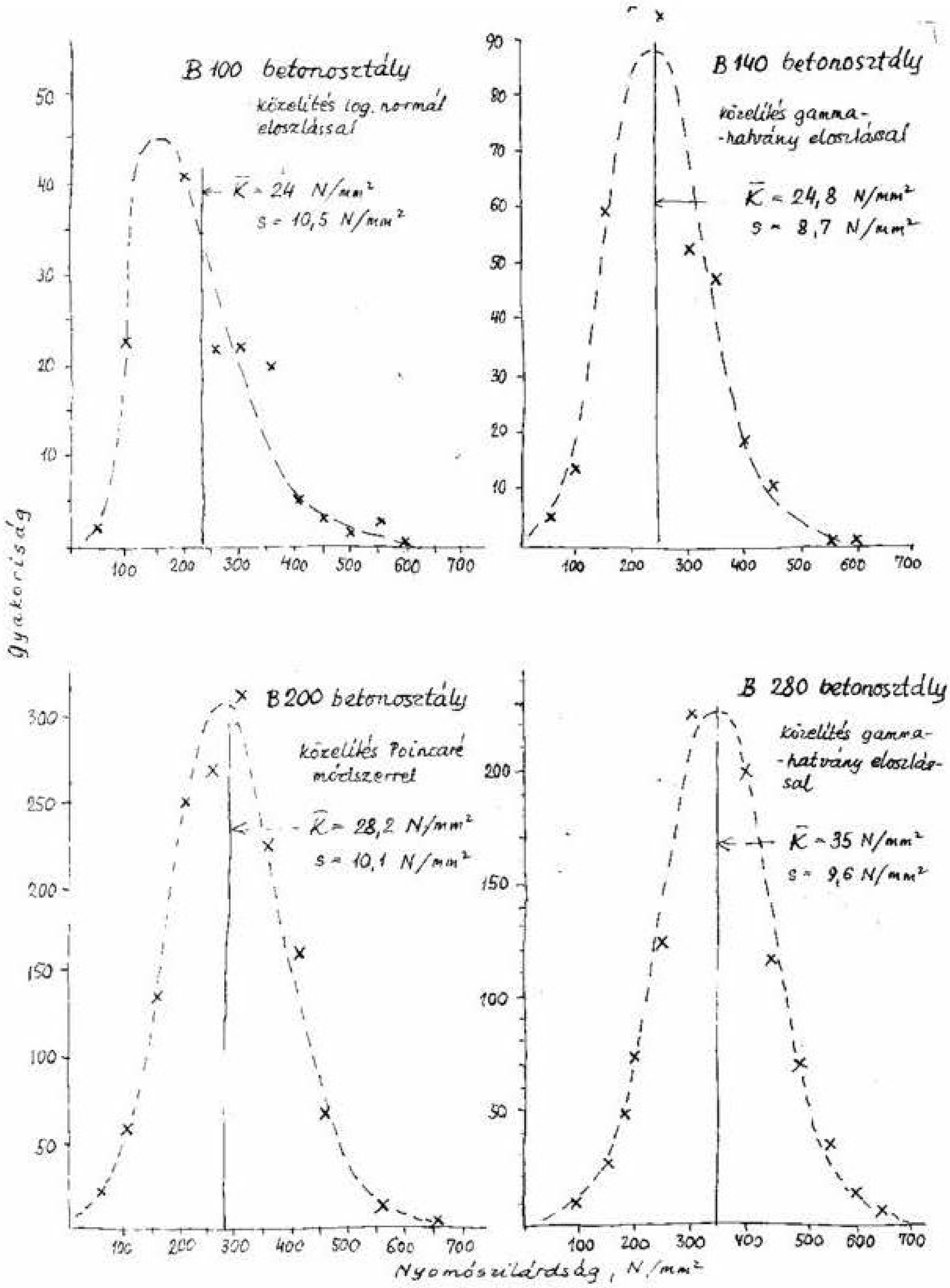


8. ábra: Magyar házgyárak B 280 szilárdsági jelű betonjainak sűrűségfüggvénye 1971 évben [9]

A hazai irodalmi adatok közül *Tevan Zs.* dolgozatában 790 db 28 napos próbakocka szilárdságvizsgálatának adatait értékelte [9]. Az azonos névleges szilárdságúra tervezett betonkeverékek több hazai üzem termeléséből valók. A gyakorisági diagram ezeknek az eredményeknek az alapján a 8. ábrán láthatók: az eloszlás centrális. Meg kell azonban jegyezni, hogy az alapadatok számos különálló tételt foglalnak magukba, mert egy éves időtartamú vizsgálatokból származnak.

Jelentős munkának kell értékelni *Roknich Gy.* tanulmányát [10]. A Közúti Hídszabályzat határfeszültségeinek az ellenőrzése céljából a KPM Közúti Főosztálya megbízása alapján *Roknich* a hídépítések betonjaiból 1967 évben vizsgálati célra beküldött próbakockák szilárdsági eredményeit dolgozta fel az Útügyi Kutatóintézet laboratóriumában, a matematikai-statisztika módszereivel. A betonokat a névleges szilárdsági osztály (B100, B140, B200 és B280) szerint csoportosította.

Mivel a normális eloszlás feltételezésével végzett számítások igen csekély – egyes esetekben negatív – határfeszültséget adtak, ezért más paraméteres számítási módszereket is alkalmazott az értékelés során (rendezett minták, logaritmikusan normális eloszlás, béta és gamma eloszlás, Poincaré-módszer, gamma-hatvány eloszlás). Az eredményeket a 9. ábrában foglaltuk össze. A vizsgálati eredményeket *Roknich* a határszilárdság becslésére is felhasználta 0.9985 és 0,95 valószínűségi szinteken. Az adatok egy részét a 4. táblázat tartalmazza.



9. ábra: Az Útügyi Kutatóintézet Betonlaboratóriumának hídbeton vizsgálati eredményei [10]

4. táblázat: Határszilárdságok becslése hídbetonok vizsgálata alapján [10]

Alkalmazott módszer	*Valószínűségi szint*								
	0,9985			*0,99*			*0,95*		
	B100	*B200*	*B280*	*B100*	*B200*	*B280*	*B100*	*B200*	*B280*
Graf-eljárás lineáris hálón	5	4	8,7	7,5	7,2	13,5	10,4	12,5	19,3
Graf-eljárás log. hálón	4	4,1	9,1	6,4	7,2	13,5	9,5	12,5	19,5
Rendezett minta	-	5,6	10,1	7	7,2	13,5	8,9	12,3	19,5
Normális eloszlás	-8,6	-2	6,3	-1,5	4,8	12,8	5,5	11,6	19,3
Log.normál eloszlás	5,5	9,4	15,1	7,4	11,9	18,1	10	15	21,7
Béta eloszlás	2,3	5,4	9,9	4,4	8,5	14	7,8	13	19,2
Gamma-eloszlás	3,3	7,2	13,2	5,4	10,1	16,6	8,5	13,9	20,9
Poincaré-módszer	-	2,1	8,5	-	6,7	13,4	-	12,4	19,5
Gamma hatvány eloszlás	-	4	9,1	-	7,2	13,4	-	11,8	18,4

Az MSZ 15022 szabványnak megfelelő valószínűségi szinten a betonszilárdságok minősítő értékei – normális eloszlásból kiindulva – a következők:

- B100 betonosztály : $K_m = 24,0 - 2 \times 10,5 = 3,0\ N/mm^2 < 7,0\ N/mm^2$
- B140 betonosztály : $K_m = 24,8 - 2 \times 8,7 = 7,4\ N/mm^2 < 10\ N/mm^2$
- B200 betonosztály : $K_m = 28,2 - 2 \times 10,1 = 8,0\ N/mm^2 < 14\ N/mm^2$
- B280 betonosztály : $K_m = 35,0 - 2 \times 9,6 = 15,8\ N/mm^2 < 20\ N/mm^2$

Az értékelés szerint tehát a szabvány követelményeinek egyik minta sem felel meg. Logaritmikusan normális eloszlás mellett – ez a B100 betonosztályra a 9. ábra szerint joggal feltételezhető – a táblázat szerint még 99 %-os valószínűségi szinten is $K_m = 7,4\ N/mm^2$, azaz a szabványban megkövetelt 7 N/mm^2-nél nagyobb.

Itt is meg kell jegyeznünk, hogy az 1 éves időtartamú vizsgálatokból származó adathalmaz együttes értékelése vitatható, mert ez több tételt tartalmaz. Ezt mutatja a szórás nagysága is. Összevetve az adatokat az 1. fejezetben mondottakkal, az azokból szerkesztett sűrűségfüggvények a fentiek ellenére is – első közelítésként – a különböző szilárdsági osztályú betonokra jellemzőknek ítélhetők.

Vitathatatlanul a legterjedelmesebb s ennek következtében a legtöbb, értékelésre alkalmas adatot a KGST országoknak a betonok minősítési szabványa kidolgozását megalapozó közös kísérleteiből készített dokumentum tartalmazza. Ezt a munkát Magyarország (*Dr. György László. ÉMI*) irányította [11]. A közös kutatásban Magyarországon kívül résztvett Bulgária, Lengyelország és a Német demokratikus Köztársaság.

A vizsgálatok elvégzéséhez négy különböző típusú betonkészítő munkahelyet választottak ki:

- ahol csak a cementet mérik tömegre (üzem jele: E_1)
- ahol az adalékanyagot és a cementet tömegre mérik (üzem jele: E_2);
- betongyár (mint E_2 , de félautomata üzem, az üzem jele: E_3);
- teljesen automatizált betongyár (üzem jele: E_4).

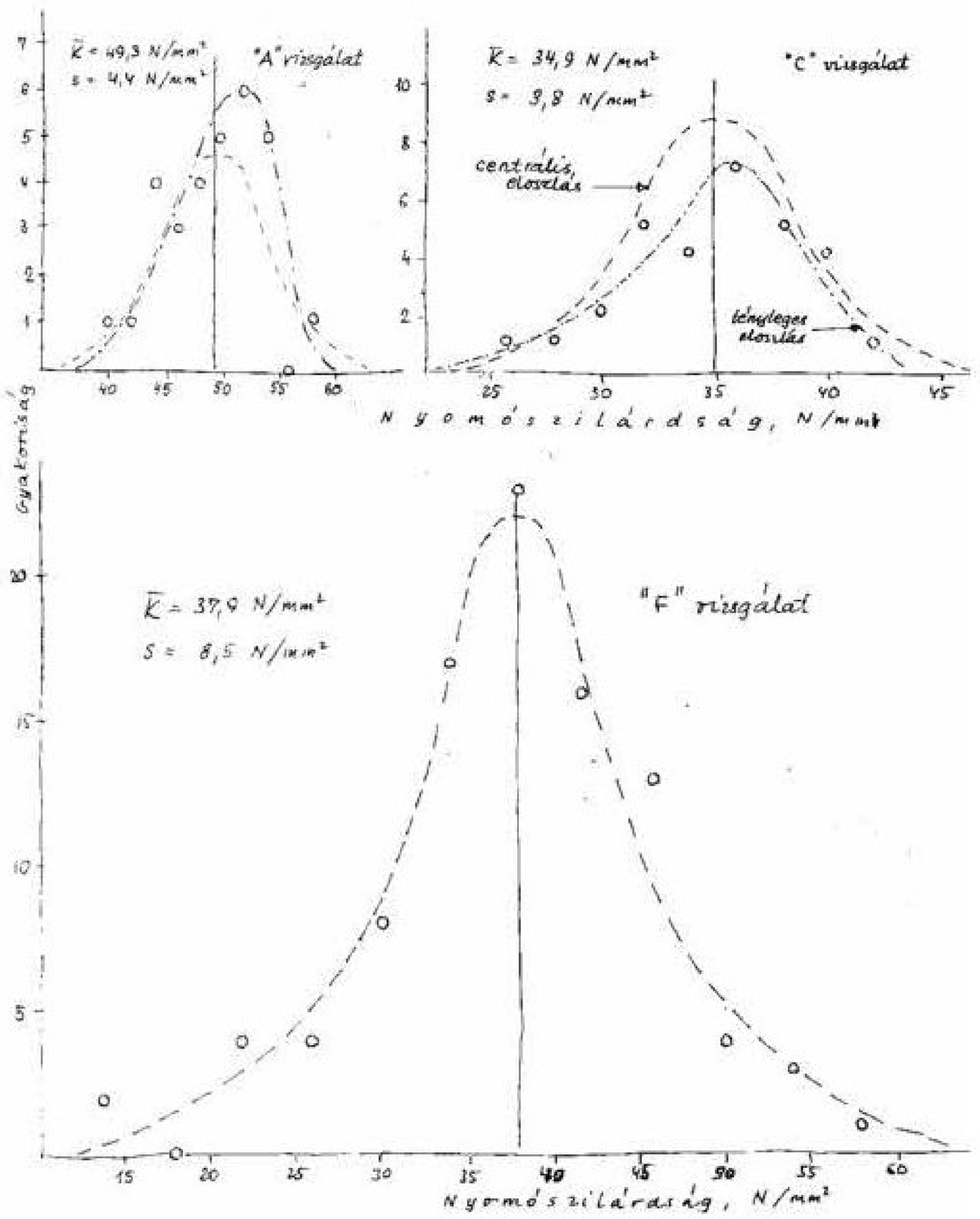
Minden üzemtípusból kettőben (ezek jele: A_1 és A_2) végezték el a vizsgálatokat két betonosztállyal (B100-B150, jele: B_1 és B280-B400 betonosztállyal, jele: B_2), betonosztályonként három mintavétellel:

- fél éven át minden keverésből 1-1-db próbatestet vettek és nyomószilárdságát 28 napos korban megvizsgálták (jele: *F*);
- a fél év első és utolsó hetében, egy kiválasztott napon, egyetlen keverésből legalább 30 próbatestet készítettek és nyomószilárdságukat 28 napos korban megvizsgálták (jele: *A*);
- a fél év második és utolsó előtti hónapjában , egy kiválasztott napon, minden keverésből 1-1 db próbatestet készítettek és 28 napos nyomószilárdságát megvizsgálták (jele: *C*).

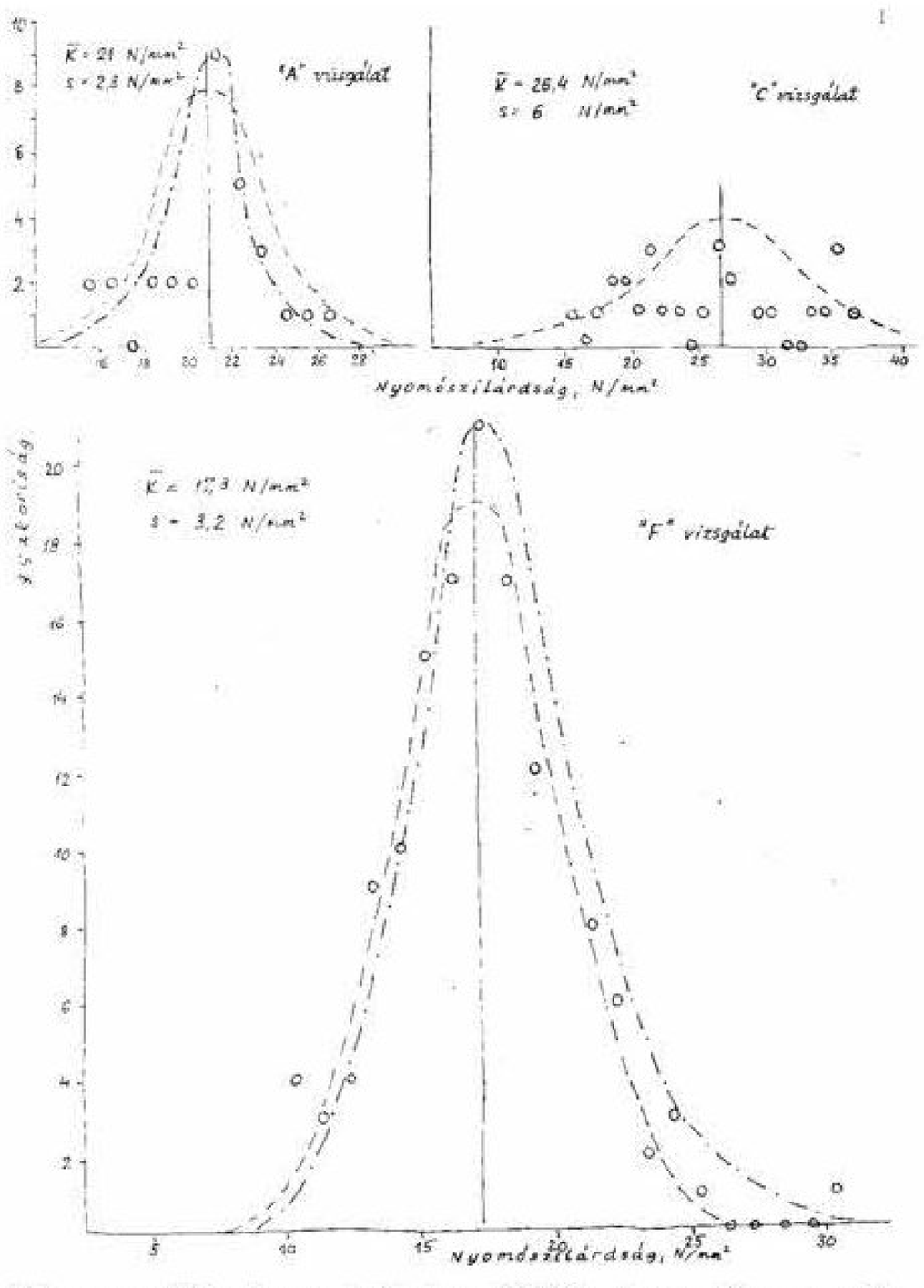
Ebből a nagy vizsgálatsorozatból néhány eredményt részleteiben is feldolgoztunk a 10.-12. ábrákon. A 10. ábra a magyar, a 11. és 12. ábra bolgár adatokra épült. Valamennyi ábrán feltüntettük a gyakoriságot, szaggatott vonallal a centrális eloszlásnak megfelelő gyakorisági diagramot, eredményvonallal a tényleges eloszlást megközelítő gyakorisági diagramot. A 13.-15. ábrán a vizsgálati eredmények túlnyomó részét mutatják be tájékoztatás céljából.

A vizsgálatok során a normális eloszlás feltételezésének a helyességét – többek között - a Kolmogorov-Szmirnov féle „jó" illeszkedés határgörbéinek a segítségével is megvizsgálták [12]. A módszer lényege az, hogy ha az *n* elemű véletlen minta $F_n(x)$ eloszlásfüggvényének értéke az elméleti $F(x)$ eloszlásfüggvény értékétől az előírtnál kisebb mértékben tér el, akkor az eloszlást normálisnak lehet tekinteni. A kiértékelés szerint a 41 vizsgálatsorozat esetében, 5 %-os szignifikancia szintre

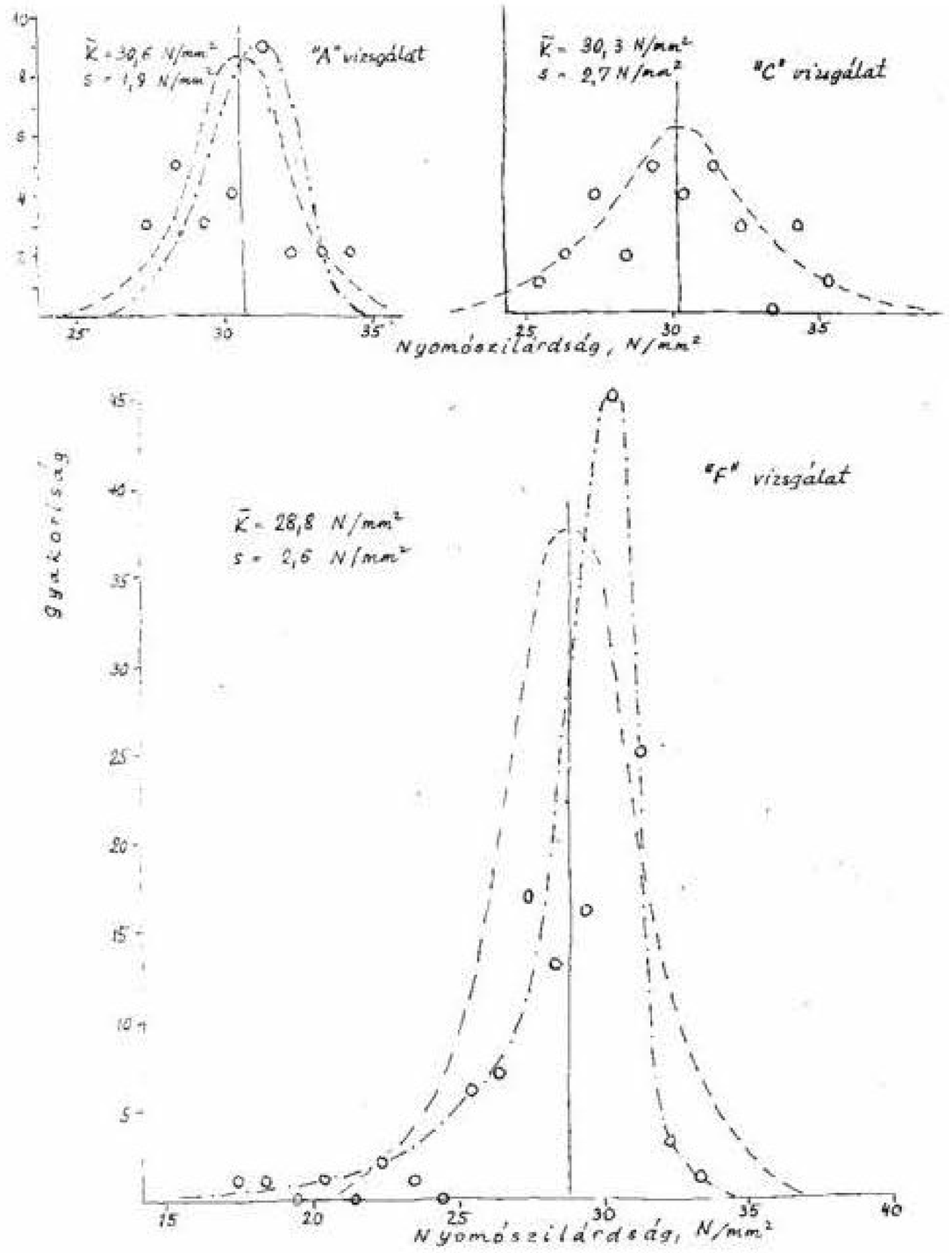
- 17 sorozatban a normális eloszlás feltételezése elfogadható;
- 20 sorozatban a normális eloszlás nem tételezhető fel;
- 4 sorozat eredményeit nem lehet értékelni.



10. ábra: Tervezett betonminőség: B200, üzemtípus: E_2 , Magyarország



11. ábra: Tervezett betonminőség: B150, üzem típusa: E_3, Bulgária



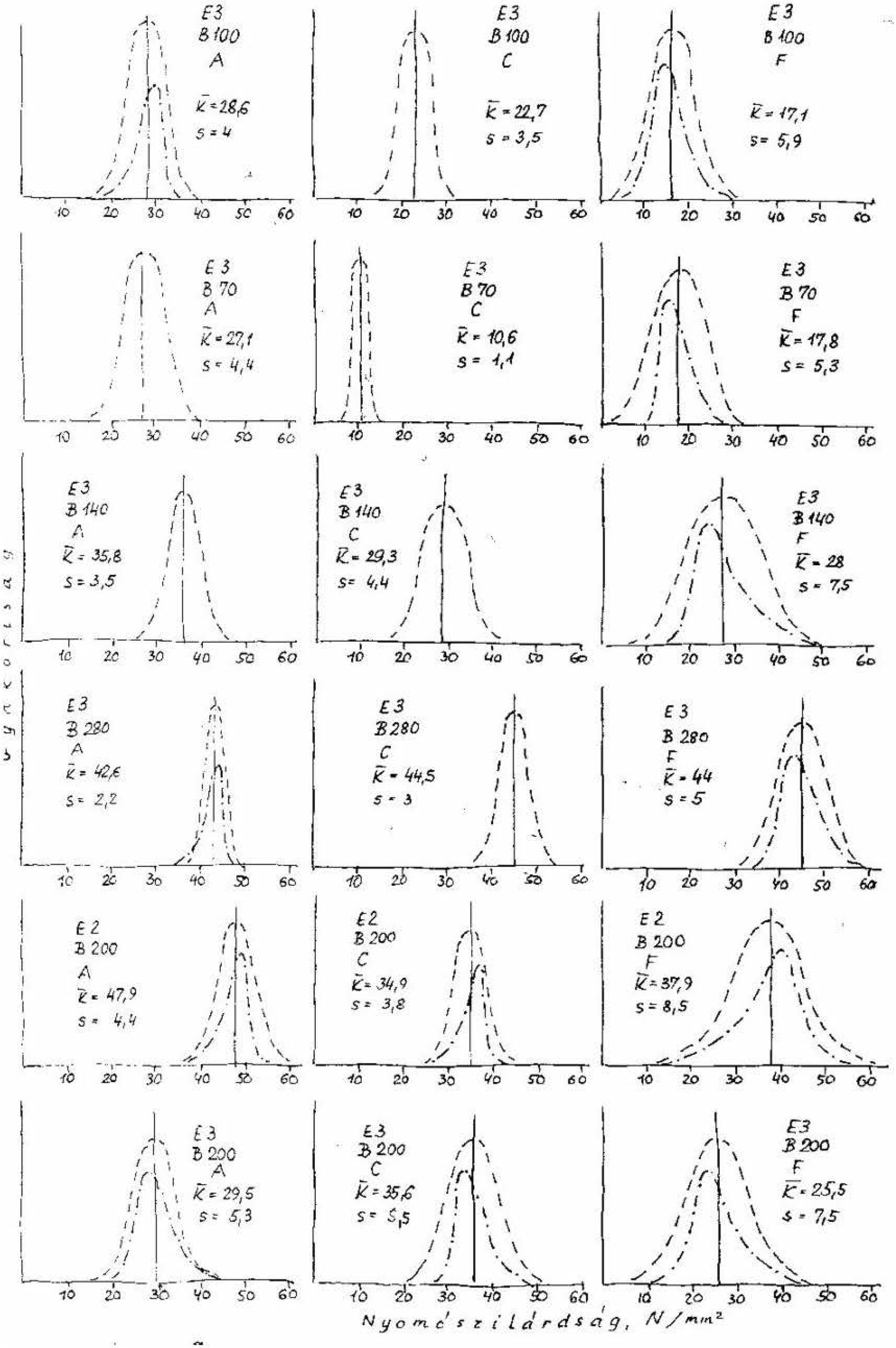
12. ábra: Tervezett betonminőség: B300, üzem típusa: E_3, Bulgária

A kísérletekből azt is megállapították, hogy a szélső értékek bizonyos valószínűség alatt már nem becsülhetők kellő megbízhatósággal a normális eloszlás feltételezése mellett. A különböző külföldi szabályzatok a még becsülhető határt 84-97 %-os valószínűségi szinteken veszik fel. Az eredeti KGST tervezési ajánlásban megadott 99,85 %-os valószínűségi szinten a szilárdság – a nagy bizonytalanságok miatt – közvetlenül már nem ellenőrizhető, ezért javasolták a 97,7 %-os valószínűségi megkötését. Az ehhez tartozó szilárdsági érték a mintákból még éppen becsülhető (bár éppen a KGST sorozatvizsgálat adatai szerint ez a becslés is még sok bizonytalansággal terhes).

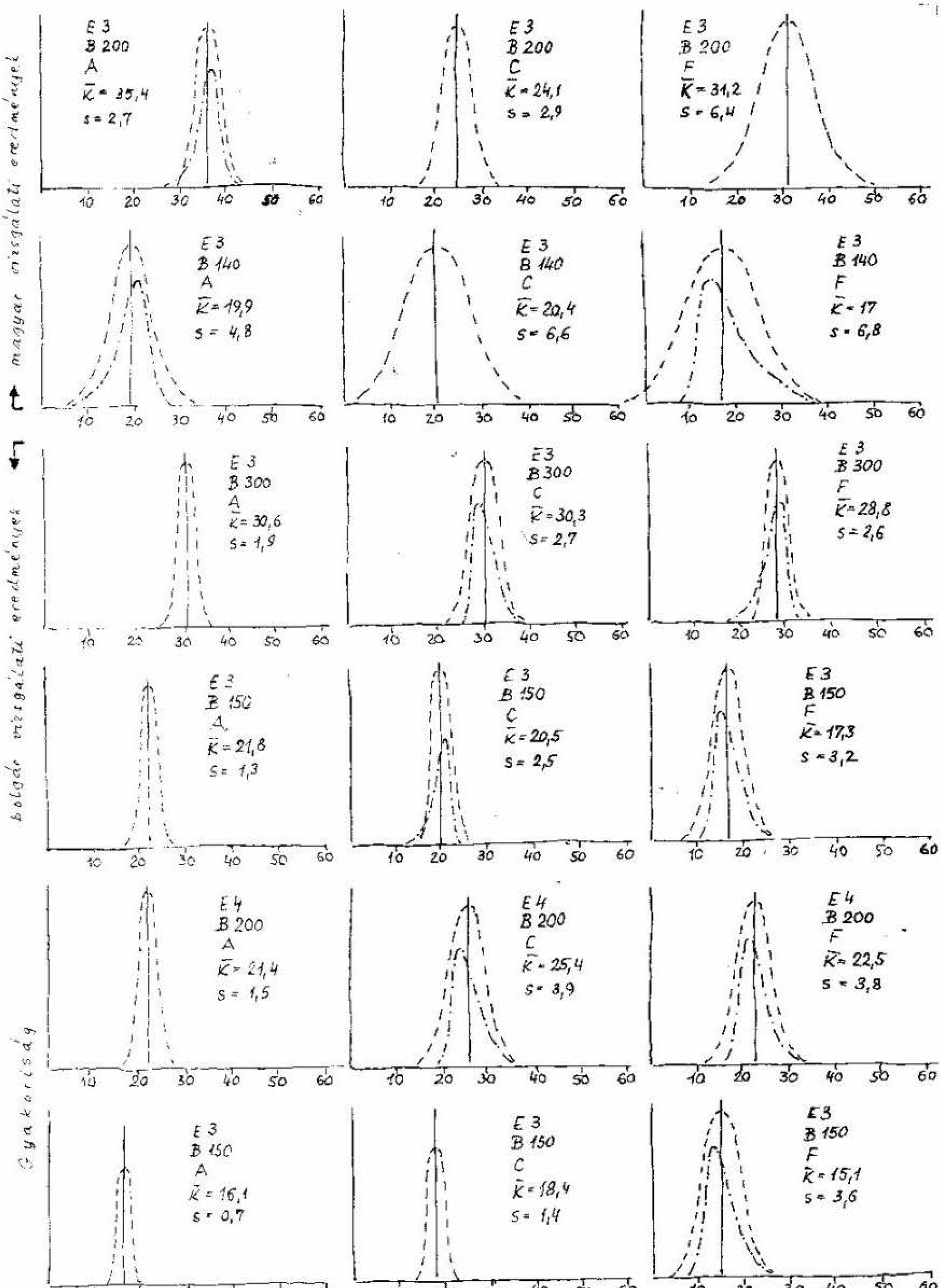
Az Építéstudományi Intézet Betontechnológiai osztálya vállalati megbízásra felülvizsgálta egy budapesti létesítmény vasbeton szerkezeteinek jelentős részét építés közben. A kivitelező vállalat által a vasbeton szerkezet betonjából készített és az eredeti szerkezet mellett tárolt próbakockákon – a roncsolásos szilárdságvizsgálat előtt – Schmidt-kalapáccsal és ultrahangos szilárdságvizsgáló berendezéssel méréseket végeztünk és a roncsolásmentes vizsgál eszközöket ezekkel a mérésekkel kalibráltuk. Az épület vasbeton szerkezeteinek a betonját ezt követően nagy sűrűséggel roncsolásmentes módszerekkel ellenőriztük. Az eredmények közül a faltartók betonjának szilárdsági adatait a 16. ábrában egyenként, a 17. ábrában összesítve dolgoztuk fel.

Ez a vizsgálat is – mint ahogy a betonszilárdság sűrűségfüggvényének valamennyi gyakorlati vizsgálata – felveti az együtt értékelhető adatok számának – a tételnek – a meghatározását. Folyamatos betonkészítés során is megváltozhatnak a gyártási feltételek (p. új cement vagy adalékanyag szállítmány érkezése után), aminek következtében már új tételbe kell sorolni az ezután vett mintákat. Erre mutat rá nyomatékosan a [7] tanulmány adataiból szerkesztett 6. ábra is.

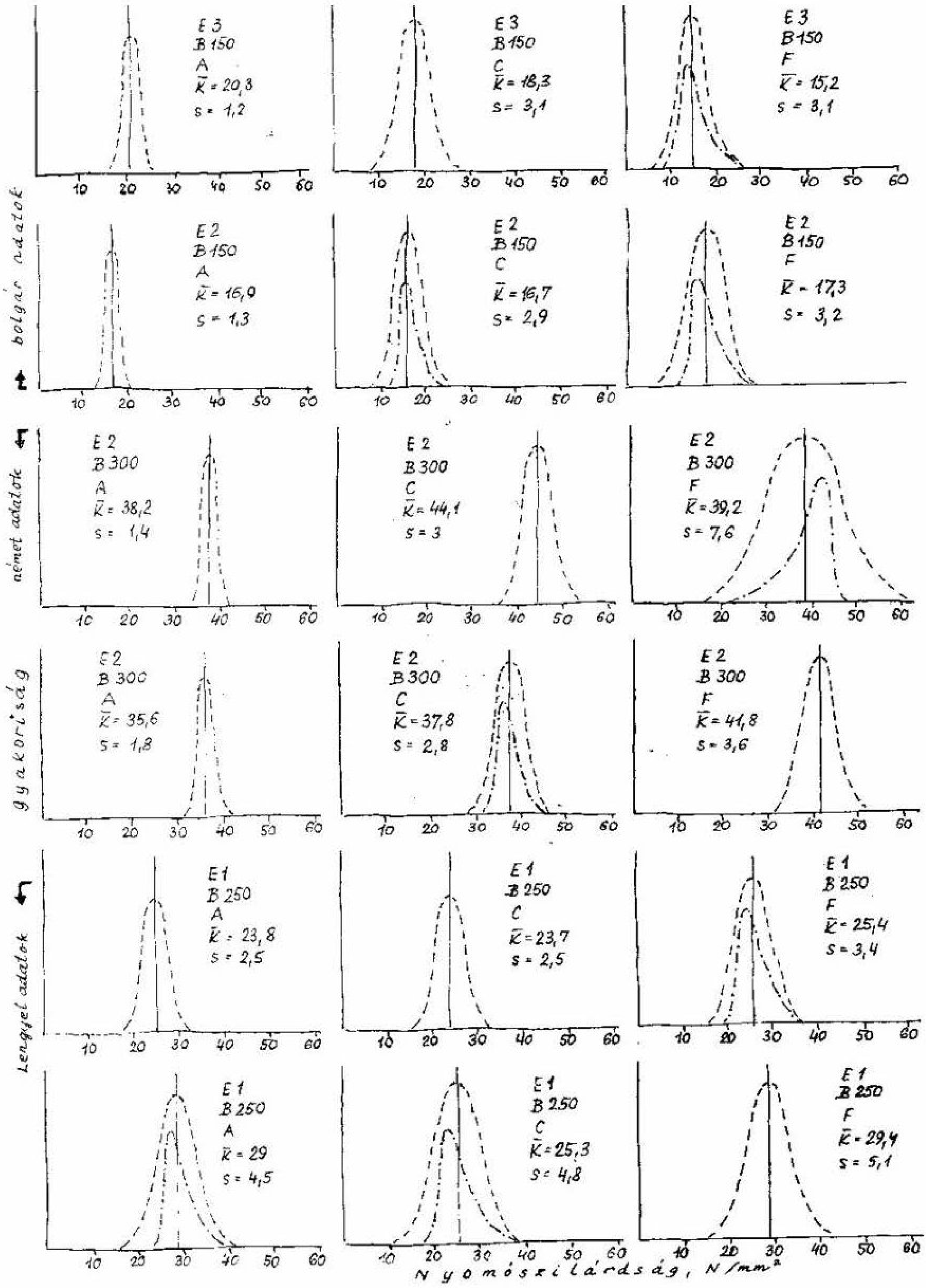
Az ÉTI vizsgálatok adataiból [13] a faltartókat először külön-külön értékeltük, majd szilárdság szerint csoportosítottuk, hogy az együtt értékelhető adatokat kiválasszuk. Az eredmények szerint a következőket lehet egy tételnek tekinteni az átlagos szilárdságok szempontjából:



13. ábra: Gyakorisági diagramok, KGST vizsgálat, Magyarország

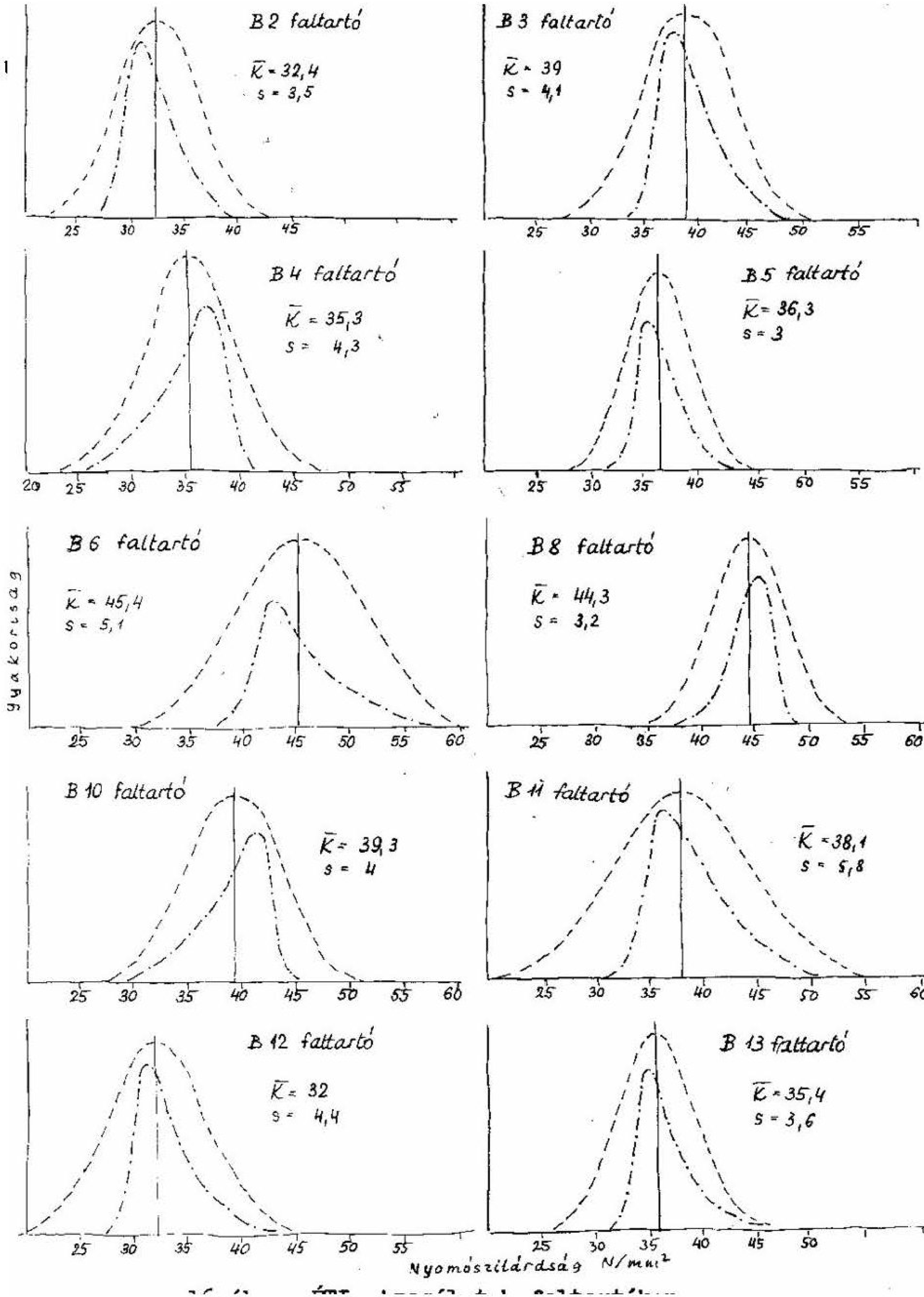


14. ábra: Gyakorisági diagramok, KGST vizsgálat, Magyarország és Bulgária

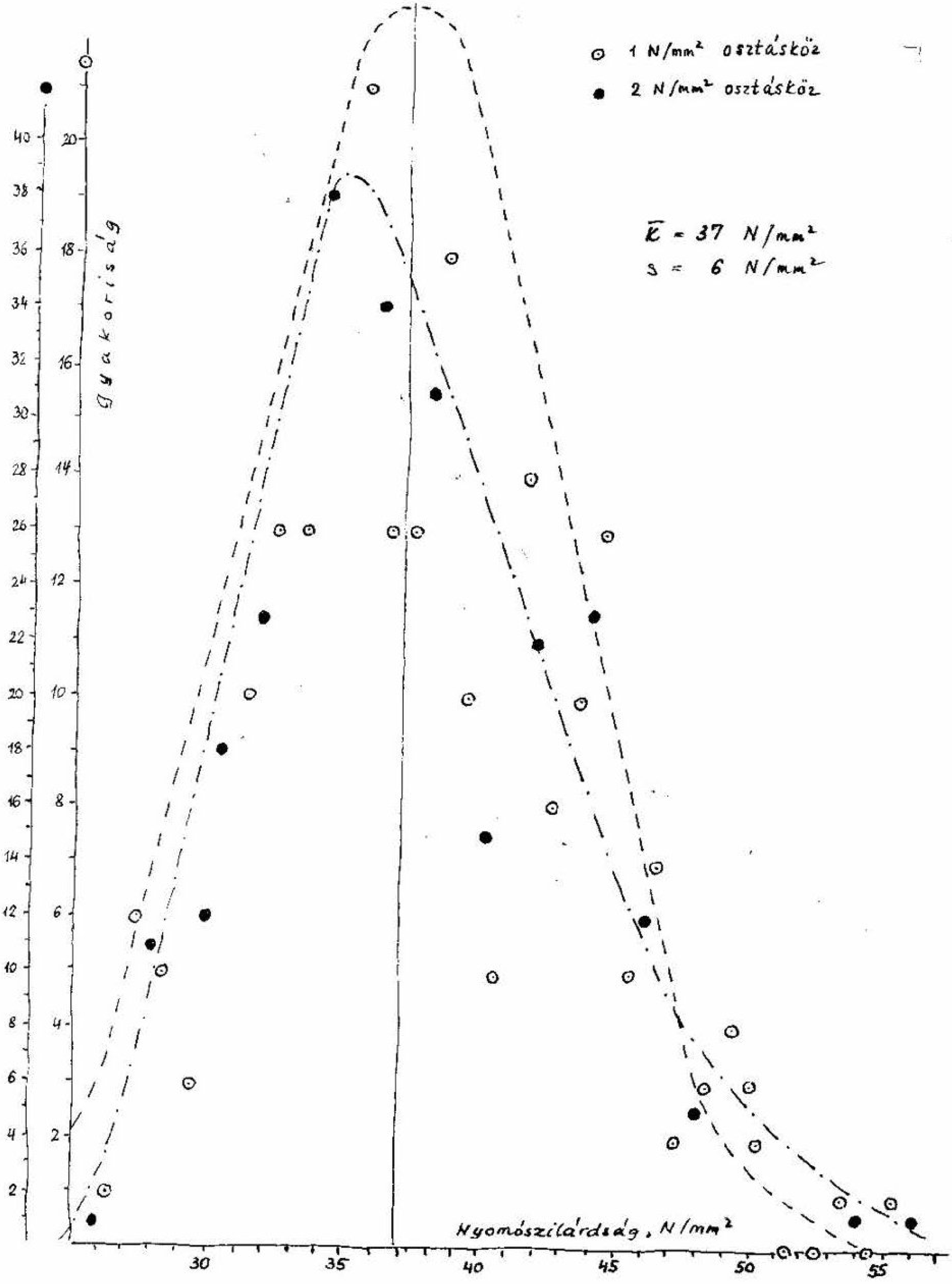


15. ábra: Gyakorisági diagramok, KGST vizsgálatok: Bulgária, Lengyelország, Német Demokratikus Köztársaság

A 1



16. ábra: ÉTI vizsgálatok faltartókon



17. ábra: ÉTI vizsgálatok fatartókon

- a *B2* és *B12* faltartót ($\overline{K}$ = *32,4 N/m²* , illetve *32 N/mm²* átlagos nyomószilárdság; *s* = *3,5* illetve *4,4 N/mm²* szórás). Az együttes értékelés eredménye : $\overline{K}$ = *32,2 N/mm²* átlagos nyomószilárdság és *s* = *3,9 N/mm²* szórás. Variációs tényező: *v* = *12,1 %*;
- a *B6* és *B8* faltartót ($\overline{K}$ = *45,4 N/m²* , illetve *44,3 N/mm²* átlagos nyomószilárdság; *s* = *5,1* illetve *3,2 N/mm²* szórás). Az együttes értékelés eredménye : $\overline{K}$ = *44,8 N/mm²* átlagos nyomószilárdság és *s* = *4,1 N/mm²* szórás. Variációs tényező: *v* = *9,2 %*;
- a *B3, B4, B5, B10* és *B13* faltartót ($\overline{K}$ = *35,3 - 39,3 N/mm²* átlagos nyomószilárdság; *s* = *3,0 - 5,8 N/mm²* szórás). Az együttes értékelés eredménye : $\overline{K}$ = *37,1 N/mm²* átlagos nyomószilárdság és *s* = *4,4 N/mm²* szórás. Variációs tényező: *v* = *11, 9 %*.

A legutolsó adatcsoportban megvizsgáltuk, milyen eredményt kapunk akkor, ha különválasztjuk a $\overline{K}$ = *38 N/mm²* átlagszilárdság alatti és fölötti faltartókat:

- a *B3, B10* és *B11* faltartókra: $\overline{K}$ = *38,7 N/mm²*; *s* = *4,8 N/mm²* és *v* = *12,4 %*;
- a *B4, B5* és *B13* faltartókra: $\overline{K}$ = *35,8 N/mm²*; *s* = *3,6 N/mm²* és *v* = *10 %*.

Ha az első csoportból kiemeljük a legnagyobb szórású *B11* faltartót, akkor

- a *B3* és *B10* faltartóra: $\overline{K}$ = *39,1 N/mm²*, *s* = *4 N/mm²* és végül *v* = *10,2 %* ;
- a *B11* faltartóra: $\overline{K}$ = *38,1 N/mm²*, *s* = *5,8 N/mm²* és végül *v* = *15,2 %*

értékeket kapunk. Ha a *B11* faltartót is – az egymástól jól különválasztható eredmények alapján – két külön tételként értékeljük, akkor a következő eredményeket kapjuk:

- a *B11* faltartó 1-8 mérésére: $\overline{K}$ = *46,1 N/mm²*, *s* = *3,5 N/mm²* és *v* = *7,6 %* ;
- a *B11* faltartó 9-27 mérésére: $\overline{K}$ = *34,8 N/mm²*, *s* = *2 N/mm²* és *v* = *5,8 %*.

Végül az MSZ 15022 szabvány szerinti megbízhatósági szinten kiszámítottuk a *B11* faltartó betonszilárdságának minősítési értékét valamennyi adatot együtt értékelve, valamint különválasztás után:

- 27 adat együtt értékelése után: $K_m = 38,1 - 2 \times 5,8 = 26,5\ N/mm^2$;
- az 1-8 mérés együtt értékelése után: $K_m = 46,1 - 2 \times 3,5 = 39,1\ N/mm^2$;
- a 9-27 mérés együtt értékelése után: $K_m = 34,8 - 2 \times 2,0 = 30,8\ N/mm^2$.

Látható, hogy a beton nyomószilárdságának minősítési értéke a 9-27 mérés különválasztott értékelése után nagyobb, mint valamennyi adat együtt-értékelése után annak ellenére, hogy az átlagos nyomószilárdság kisebb. Ez azt is jelenti, hogy *B400* szilárdsági osztály előírása esetén a *B11* faltartót az adatok együttes értékelése alapján nem megfelelőnek kellene minősíteni (mert K_m = *26,5 N/mm²* kisebb, mint az előírt *28 N/mm²* küszöbszilárdság), de a különválasztott értékelés eredményeként a faltartó megfelelőnek bizonyult.

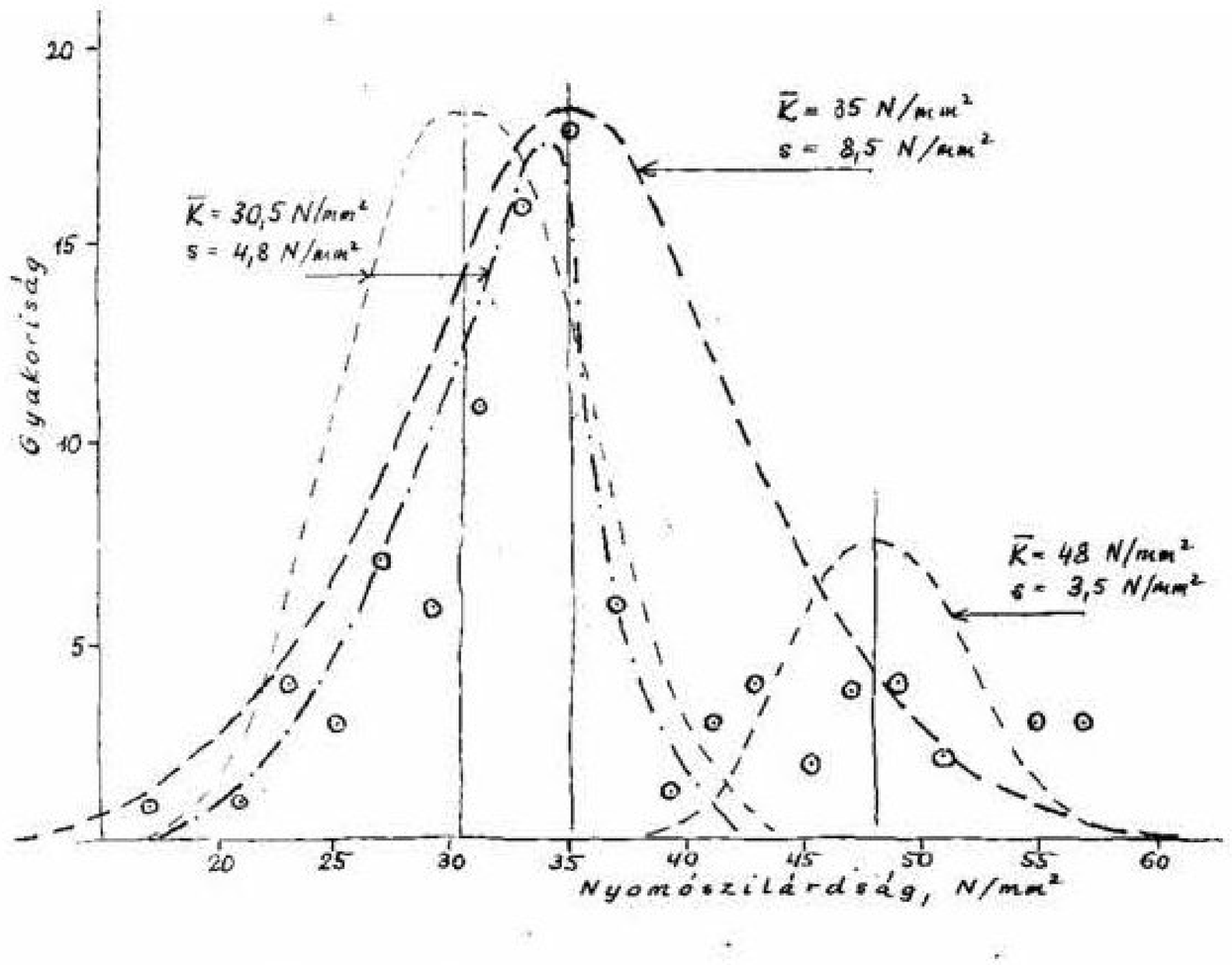
Igen jól használható adatokat találtunk egy hazai betongyár laboratóriumának 1974 évben fél éven át végzett ellenőrző vizsgálataiból készített összefoglalójában. Az eredmények közül a *B280-20/3* jelű betonét választottuk ki s ezeket a 18. ábrán dolgoztuk fel. Az ábra szerint a fél év valamennyi (99) adatának együttes értékelése alapján:

$$\overline{K} = 35\ N/mm^2 \qquad s = 8,5\ N/mm^2 \qquad K_m = 35 - 2 \times 8,5 = 18\ N/mm^2$$

azaz a beton nem elégíti ki az MSZ 15022 szabvány *B280* minőségi osztályra előírt követelményét ($K_m \geq 20\ N/mm^2$).

A betongyár folyamatosan használt új kényszerkeverőgéppel, de egy régebbi típusú tartalék kényszerkeverőgéppel rendelkezett. Szállítási csúcsok idején a tartalék keverőgépet is üzembe állították, de tartva attól, hogy az elhasználódott, régi keverő kevésbé megbízhatóan működik, megváltoztatták a keverési arányt. Ezt azonban a minőségellenőrökkel nem közölték.

Az adatok értékelésekor a gyári laboratórium felfigyelt arra, hogy a 99 szilárdsági eredmény feltételezhetően két tételből származik és az eltérések okát utólag ki is derítette. Megállapították, hogy 76 betonmintát vettek a folyamatosan használt, új keverőgépben kevert betonból. Ennek értékelése a következő eredményt adta:



Beton jele: B 200-20/3

— — — — fél évi vizsgálatok együttesen értékelt eredményei alapján szerkesztett elméleti centrális gyakorisági diagram /99 adat/

– – – – – az új és a használt betonkeverőgépben kevert betonok szétválasztott eredményeiből szerkesztett elméleti centrális gyakorisági diagramok /76 ill. 23 adat/

— · — · — az új betonkeverőből vett 76 minta alapján szerkesztett tényleges gyakorisági diagram

18. ábra: Betongyári vizsgálati eredmények (Máhr Géz szíves közlése alapján)

$$\bar{K} = 30{,}5\ N/mm^2 \qquad s = 4{,}8\ N/mm^2 \qquad K_m = 30{,}5 - 2 \times 4{,}8 = 20{,}9\ N/mm^2$$

azaz a beton minősítési szilárdsága megfelel a *B280* szilárdsági osztályra előírtaknak.

A tartalék kényszerkeverőgépben készített betonkeverékekből kivett 23 minta vizsgálati eredményei alapján:

$$\bar{K} = 48{,}0\ N/mm^2 \qquad s = 3{,}5\ N/mm^2 \qquad K_m = 48 - 2 \times 3{,}5 = 41\ N/mm^2$$

azaz ez a beton-tétel *B560* szilárdsági osztályúnak bizonyult.

A fenti számításokat az MSZ 15022 szabvány alapján, azaz a normális eloszlás feltételezésével végezték el. Ha azonban a vizsgált beton tapasztalati sűrűségfüggvényét valamennyi adat figyelembe vételével rajzolnánk meg, akkor a 95,45 % valószínűségi szinthez tartozó küszöbszilárdság – a 18. ábra szerint – nem csökkenne 20 N/mm^2 alá, vagyis a tényleges eloszlás alapján a betont el kell fogadni, még együttes értékelés esetén is.

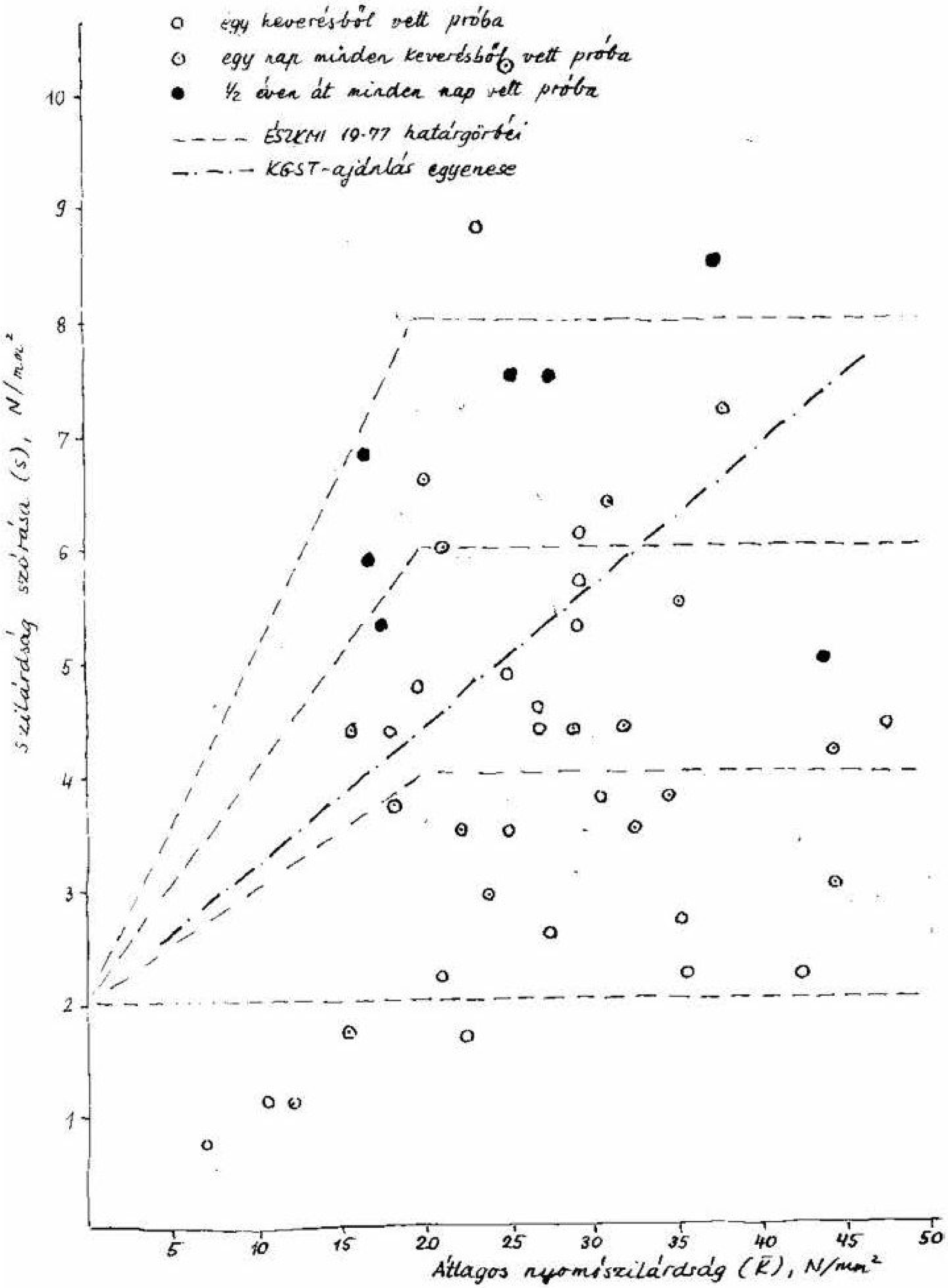
A felsorolt adatok nyomatékosan húzzák alá, hogy egyrészt a tétel helyes megválasztása a statisztikus értékelés szempontjából döntő jelentőségű, másrészt a tétel nagyságának meghatározására nagyon nehezen lehet egységes szabályokat felállítani. Ennek következtében joggal lehet a betonminőség matematikai-statisztikai vizsgálatát szakértői feladatnak tekinteni.

3. IRODALMI ADATOK A BETON SZILÁRDSÁGI SZÓRÁSÁRA

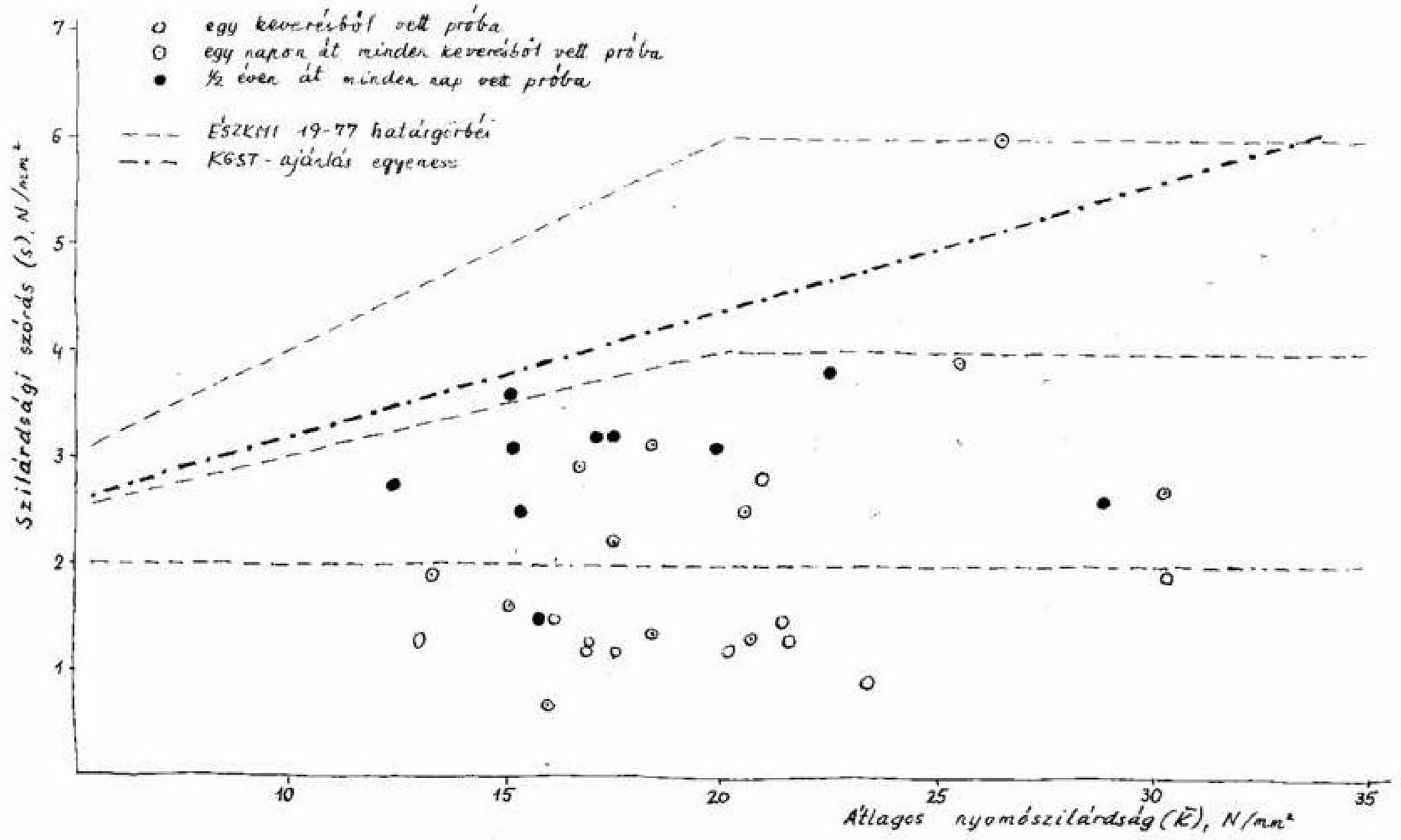
Amióta a beton szilárdságának, ill. teherbírásának a megállapítására a matematikai-statisztikai módszerek előtérbe kerültek, állandóan vitatják, vajon a szórás az átlagos nyomószilárdság százalékában (azaz variációs tényezővel), vagy abszolút értékben fejezhető-e ki megbízhatóan. A KGST keretében végzett, korábban említett vizsgálatok zárójelentésében [12] egyetértenek a szabványajánlásban

megadott $s = 2 + 0{,}12 \times \overline{K}$ összefüggéssel, mert feltételezés szerint a szórás a szilárdság mértékének a függvénye. Az MSZ 15022 szabvány is ennek a feltételezésnek megfelelően a $v \sim 15$ % variációs tényezőt fogadja el. A *CEB-CIB-FIP-RILEM* közös munkabizottsága keretében végzett vizsgálatok alapján készített ajánlás [14] ezzel szemben adott színvonalú betonkészítő munkahelyen csak $\overline{K} = 20$ *N/mm*^{2} nyomószilárdságig tartja a szórást a szilárdsággal összefüggőnek, ennél nagyobb szilárdság esetén azonban függetlennek. Ezt az elvet kellett elfogadja az ÉSZKMI 19-77 Műszaki Irányelv is.

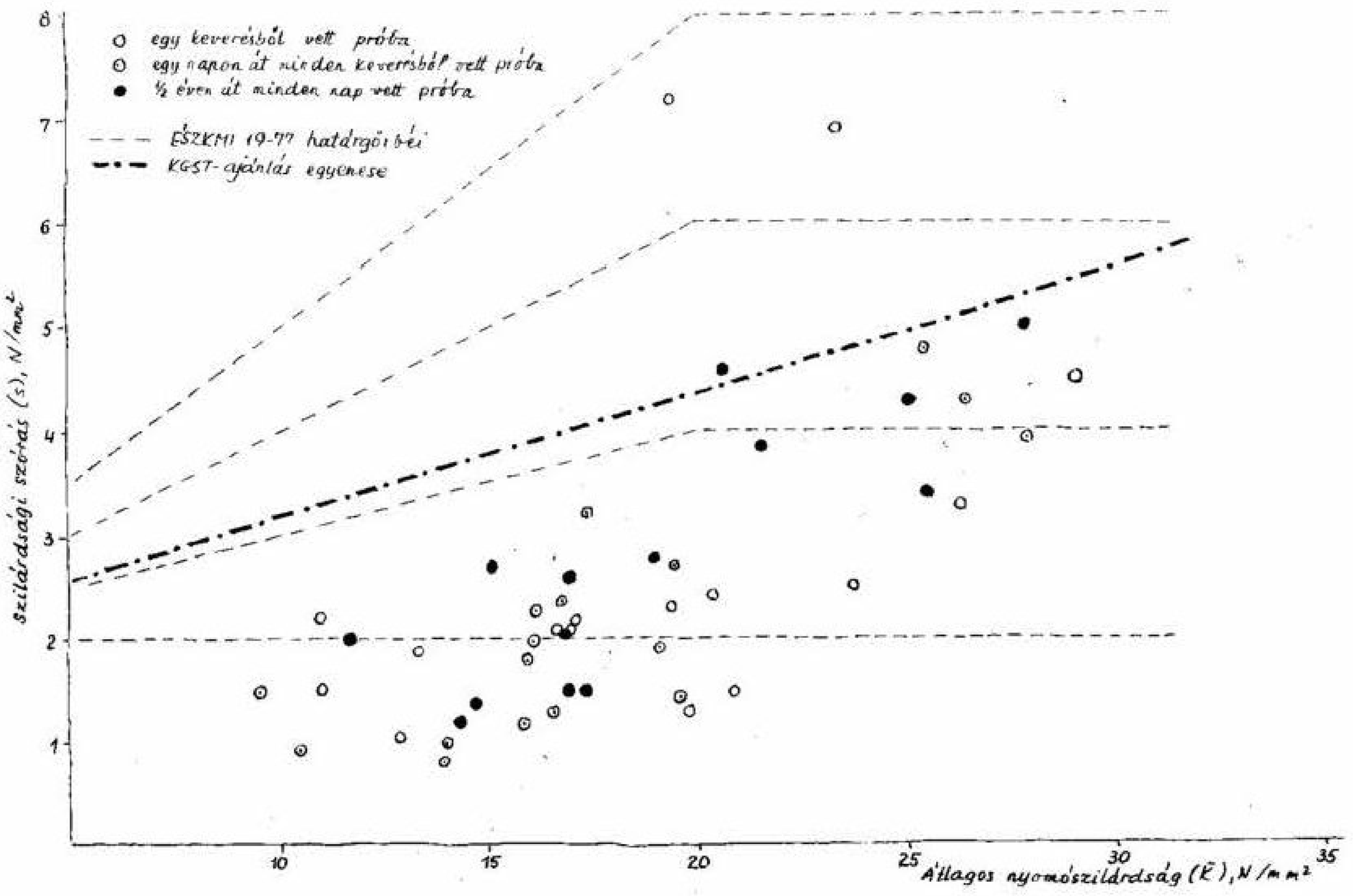
A szórás értékére a KGT zárójelentésben közölt vizsgálati adatokat a 19.-22. ábrákon dolgoztuk fel. Az ábrán szaggatott vonallal tüntettük fel az ÉSKMI 19-77-ben az A, B, C és D kategóriájú munkahelyekre megadott határegyeneseket, eredményvonallal pedig a KGST ajánlás $s = 2 + 0{,}12 \times \overline{K}$ összefüggésből szerkesztett egyenest.



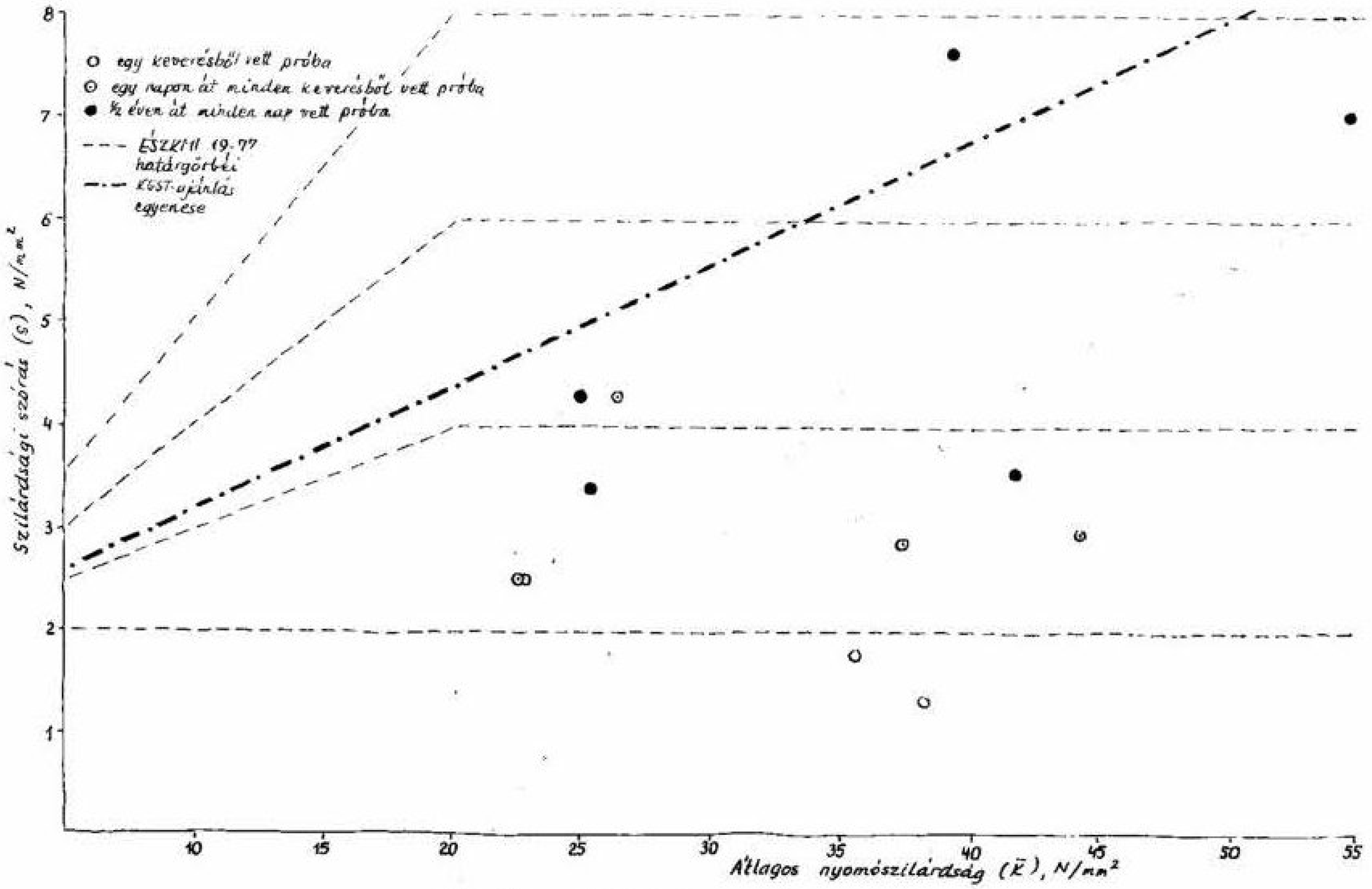
19. ábra: Magyar vizsgálatok adatai



20. ábra: Bolgár vizsgálatok adatai



21. ábra: Lengyel vizsgálatok adatai



22. ábra: NDK vizsgálatok adatai

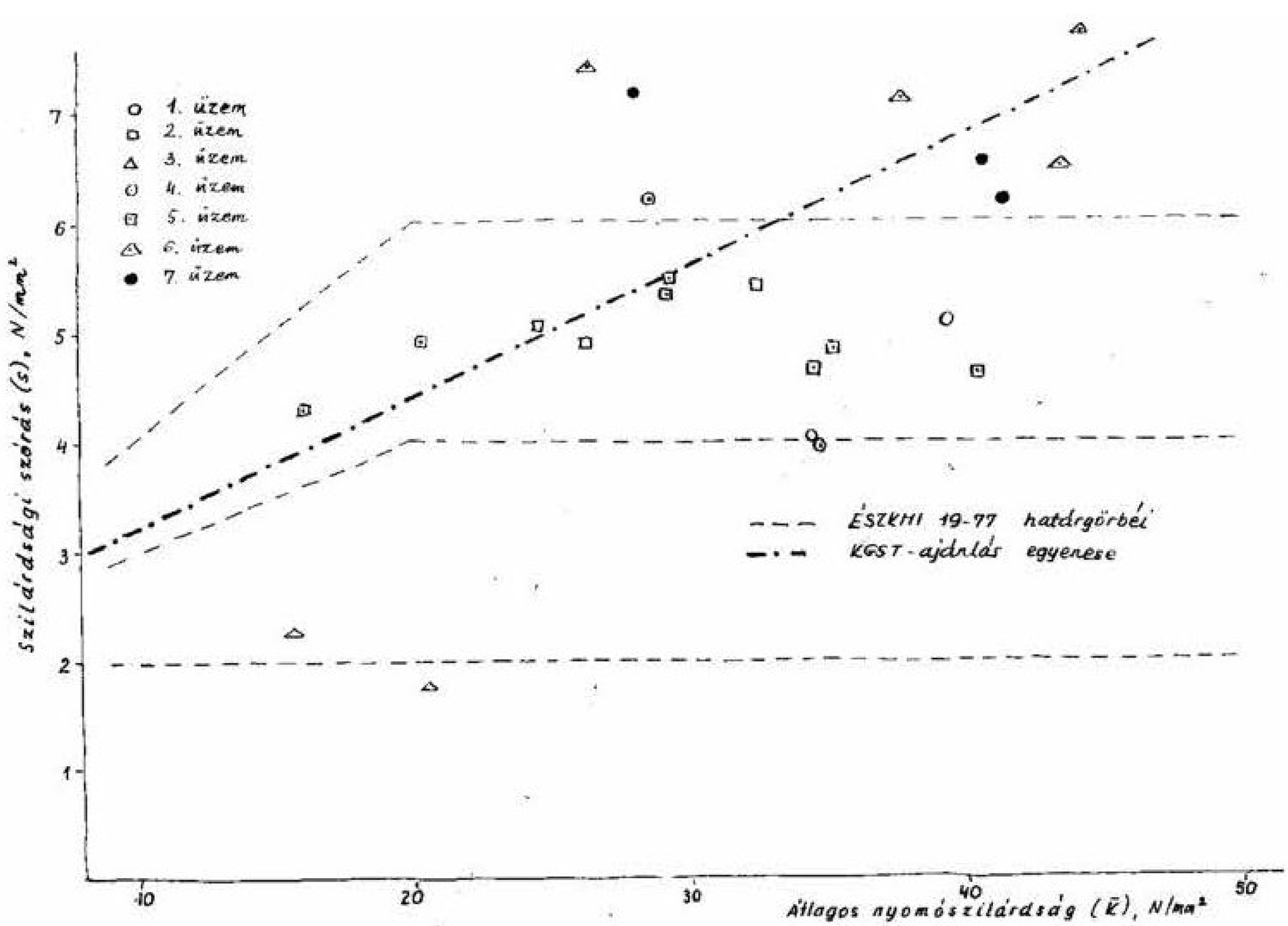
Az ábrák lapján nem tekinthető jogosulatlannak olyan következtetést levonni, hogy a szórás összefügg a szilárdsággal. Az előzetes várakozásokkal ellentétben azt sem lehet megállapítani, hogy egy adott színvonalú üzemben egyetlen keverésből készített próbatestek szórása mindig kisebb lenne, mint egy napon át minden keverékből kivett próbatesteké, vagy akár fél éven át minden nap 1-1 próbatestet (vagy próbatest-sorozatot) készítve. Ez viszont arra utal, hogy a próbatestek készítése vagy vizsgálata (vagy mindkettő) általában nem tekinthető kellő megbízhatóságúnk.

Jelentős mennyiségű adatot tárol az Építéstudományi Intézet adatbankja, ahol a vállalatok által beküldött próbakockák szilárdságvizsgálati eredményeit számos szempont alapján csoportosítva lehet értékelni. A legutolsó vizsgálati eredmények közül az 1975 és 1976 évieket emeltük ki. Az adatokat a 23. és a 24. ábrákon dolgoztuk fel.

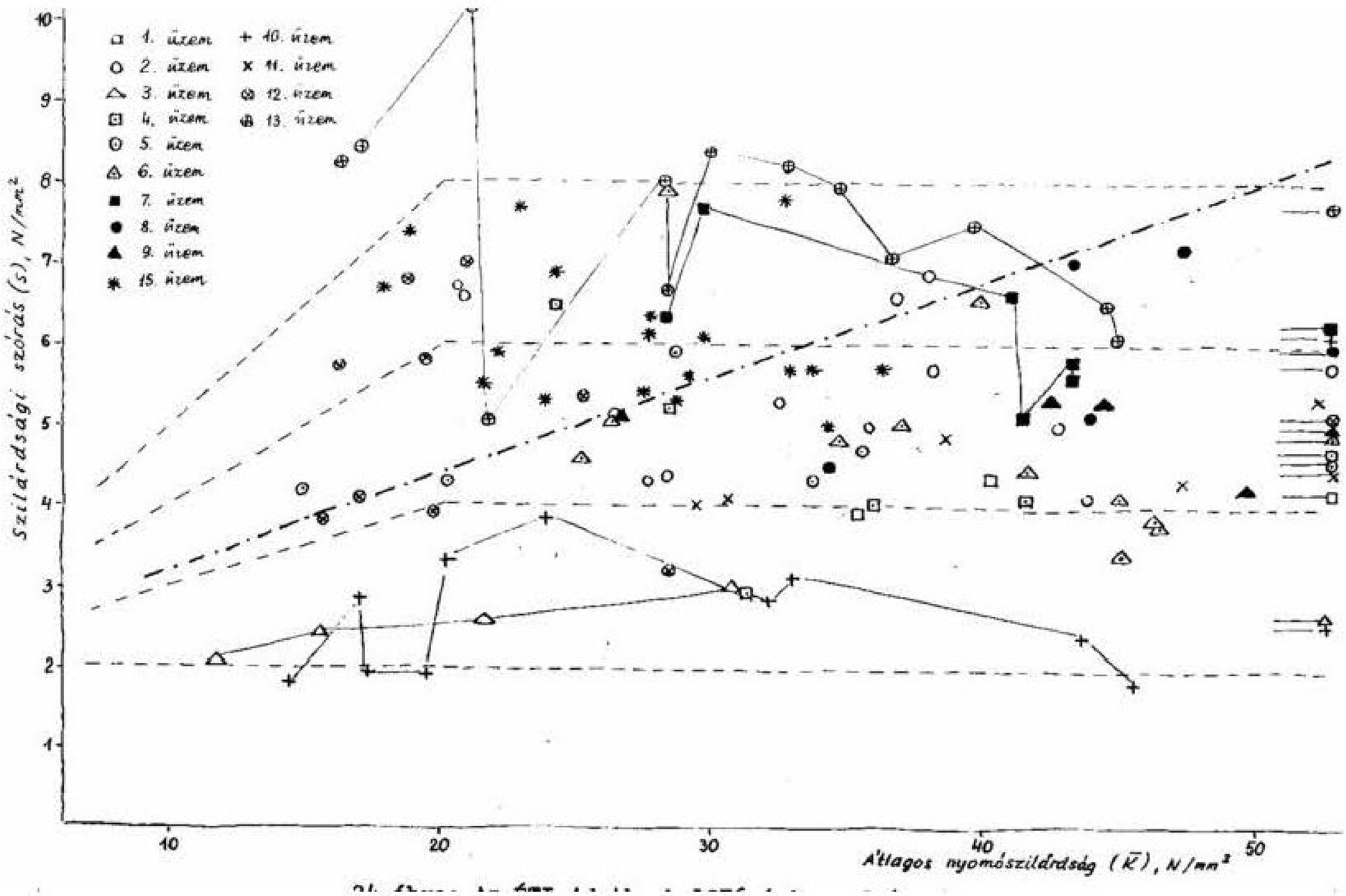
Az 1975 évi adatok alapján úgy tűnhet, hogy a KGST ajánlás által megadott összefüggés ($s = 2 + 0{,}12 \times \bar{K}$) használható lehet. Ezt azonban csak a kisszámú adatnak lehet tulajdonítani, mert az 1976 évi adatok már azt mutatják, hogy a szórás szempontjából – az ÉSZKMI 19-77-nek megfelelően – jól elkülöníthető a vizsgálatba bevont üzemek négy csoportja:

- 3. és 10. üzem szórás kb. 2,5 N/mm^2,
- 2., 4., 5., 6., 9., 11. és 12. üzem, szórás kb. 4-5 N/mm^2,
- 7., 8. és 15. üzem, szórás 5,7-6,1 N/mm^2,
- 13. üzem, szórás 7,6 N/mm^2.

A 24. ábra szerint a legnagyobb szórású két üzem (13. és 17. üzemek), valamint a legkisebb szórással dolgozó két üzem (3. és 10. üzemek) betonjainak egy-egy adott átlagos nyomószilárdságnál kapott szórásának pontjait az ábrában összekötöttük. Úgy véljük, ezek az adatok bizonyítják: a szórás nem a szilárdság függvénye, hanem elsősorban az üzemi színvonal jellemzője, így az ÉSZKMI 19-77 szerinti szórás-kategorizálás megfelelően használható.



23. ábra: Az ÉTI Adatbank 1975 évi eredményei



24. ábra: Az ÉTI Adatbank 1976 évi eredményei

Fel kell hívni a figyelmet arra is, hogy a 24. ábrán egy-egy üzemnek a különböző szilárdsági osztályú betonjaiból egy éven át vett minták vizsgálati eredményei láthatók. Nyilvánvaló, hogy az egy év során vett próbatestek nem lehetnek egy tétel elemei, mert egy év alatt a cement tényleges szilárdsága, a felhasznált adalékanyag finomhomok tartalma stb. felétlenül ingadozó volt. Ennek ellenére a szórás értékei igen kedvezőek, hiszen ilyen vizsgálati feltételek mellett is a szórás zöme 4-6 N/mm^2 között változik. Joggal feltételezhető, hogy ha különválasztott tételeket vizsgálnánk, akkor a betont sorozatban gyártó üzemek (betongyárak, elemgyárak) szilárdsági szórása általában 4 N/mm^2 alatt lenne, függetlenül a beton átlagos nyomószilárdságától.

4. LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATOK A SZILÁRDSÁGI SZÓRÁS ÉS ELOSZLÁS MEGÁLLAPÍTÁSÁRA

A vizsgálatokat az 1977. szeptember 27.-én készített részletes munkaprogramnak megfelelően végeztük, az ott felsorolt kérdések megválaszolása céljából.

4.1. Alapanyagok

Szemnagyság, mm	*0-1 bánya*	*0-1 Rheax*	*1-4*	*4-8*	*8-16*	*16-32*
	mm, frakciók szemmegoszlása, tömeg %					
0 – 0,063	1,9	2,2	0,2	0,1	0,2	0,1
0,063 – 0,125	2,8	1,6	0,1	0,2	0,1	0,1
0,12 – 0,25	91,8	9,0	0,4	0,5	0,1	0,2
0,2 – 0,5	2,9	76,2	3,3	0,3	0,2	0,5
0, – 1	0,2	9,2	9,2	1,0	0,1	0,3
1 – 2	0,4	1,8	48,6	2.4	1,5	0,8
2 – 4			37,3	34,2	4,0	0,7
4 – 8			0,7	61,1	37,6	1,9
8 – 16				0,2	57,0	25,0
16 – 32					0,2	70,4
Összesen	100	100	100	100	100	100

A kísérletekhez az Mélyépítő Vállalat Északpesti Betongyárából szállított, Rheax-berendezésen osztályozott homokos kavicsot, valamint a finomhomok pótlására ismeretlen eredetű bányahomokot használtunk fel. Az egyes frakciók szemeloszlá-sa a mellékelt táblázatnak megfelelő volt:

A továbbiakban „*A*” jellel jelölt szemmegoszlást az alábbi frakciókból állítot-tuk össze:

Szemnagyság, mm	*Tömeg % egyenként*	*Tömeg % összesen*	*Fennmaradt %*
0 – 0,063	0,81	0,81	99,19
0,063 – 0,125	0,83	1,64	98,36
0,12 – 0,25	17,35	18,99	81,01
0,2 – 0,5	14,52	33,51	66,49
0, – 1	4,5	38,01	61,99
1 – 2	15,58	53,59	46,41
2 – 4	15,76	69,35	30,65
4 – 8	16,33	85,68	14,32
8 – 16	14,27	99,195	0,05
16 – 32	0,05	100	
Összesen	100		498,47
Finomsági modulus	4,985		

0-1 mm bányahomok 17 tömeg %
0-1 mm Rheax-homok 17 tömeg %
1 - 4 mm homok 30 tömeg %
4 - 8 mm kavics 11 tömeg %
8 –16 mm kavics 25 tömeg %
összesen 100 %

Az „A” jelú adalékanyag keverék szemmegoszlását és finomsági modulusát a mellékelt táblázat tartalmazza:

A továbbiakban „*B*” jellel jelölt szemmegoszlást a következő frakciókból állítottuk össze:

0-1 mm bányahomok 5 tömeg %
0-1 mm Rheax-homok 5 tömeg %
1-4 mm homok 15 tömeg %
4-8 mm kavics 15 tömeg %
8-16 mm kavics 15 tömeg %
16-32 mm kavics 45 tömeg %
összesen 100 tömeg %

Szemnagyság, mm	*Tömeg % egyenként*	*Tömeg % összesen*	*Fennmaradt %*
0 – 0,063	0,32	0,32	99,68
0,063 – 0,125	0,31	0,63	99,37
0,12 – 0,25	5,29	5,92	94,08
0,2 – 0,5	4,75	10,67	89,33
0, – 1	2,14	12,81	87,19
1 – 2	8,35	21,16	78,84
2 – 4	11,52	32,68	67,32
4 – 8	15,78	48,46	51,54
8 – 16	19,83	68,29	31,71
16 – 32	31,71	100	
Összesen	100		699,06
Finomsági modulus	6,991		

Az „*A*” jelű adalékanyag keverékből kismértékben (kb. 20 liter/m^3) cementpéppel túltelített, kevéssé képlékeny, valamint telítetlen, képlékeny-folyós konzisztenciájú betonkeverékeket terveztünk. A tervezett összetételek a következők voltak:

A1 jelű, kevéssé képlékeny, kissé túltelített beton:

vízadagolás	194 kg/m^3
cementtartalom	370 kg/m^3
adalékanyagtartalom	1820 kg/m^3
víz/cement tényező	0,52
tervezett szilárdság	300 daN/cm^2

A2 jelű, képlékeny-folyós, telítetlen betonkeverék:

vízadagolás	220 kg/m^3
cementtartalom	140 kg/m^3
adalékanyag tartalom	1840 kg/m^3
víz/cement tényező	1,67
tervezett betonszilárdság	50 daN/cm^2

A „*B*” jelű adalékanyag keverékből cementpéppel kismértékben túltelített (kb. 20 liter/m^3) betonkeveréket terveztünk, kevéssé képlékeny konzisztenciával, valamint telítetlen betonkeveréket, ugyancsak kevéssé képlékeny konzisztenciával. A tervezett összetételek az alábbiak:

B1 jelű, kevéssé képlékeny, kissé túltelített betonkeverék:

vízadagolás	145 kg/m^3
cementtartalom	370 kg/m^3
adalékanyag tartalom	1890 kg/m^3
víz/cement tényező	0,392
tervezett betonszilárdság	380 daN/cm^2

A2 jelű, képlékeny-folyós, telítetlen betonkeverék:

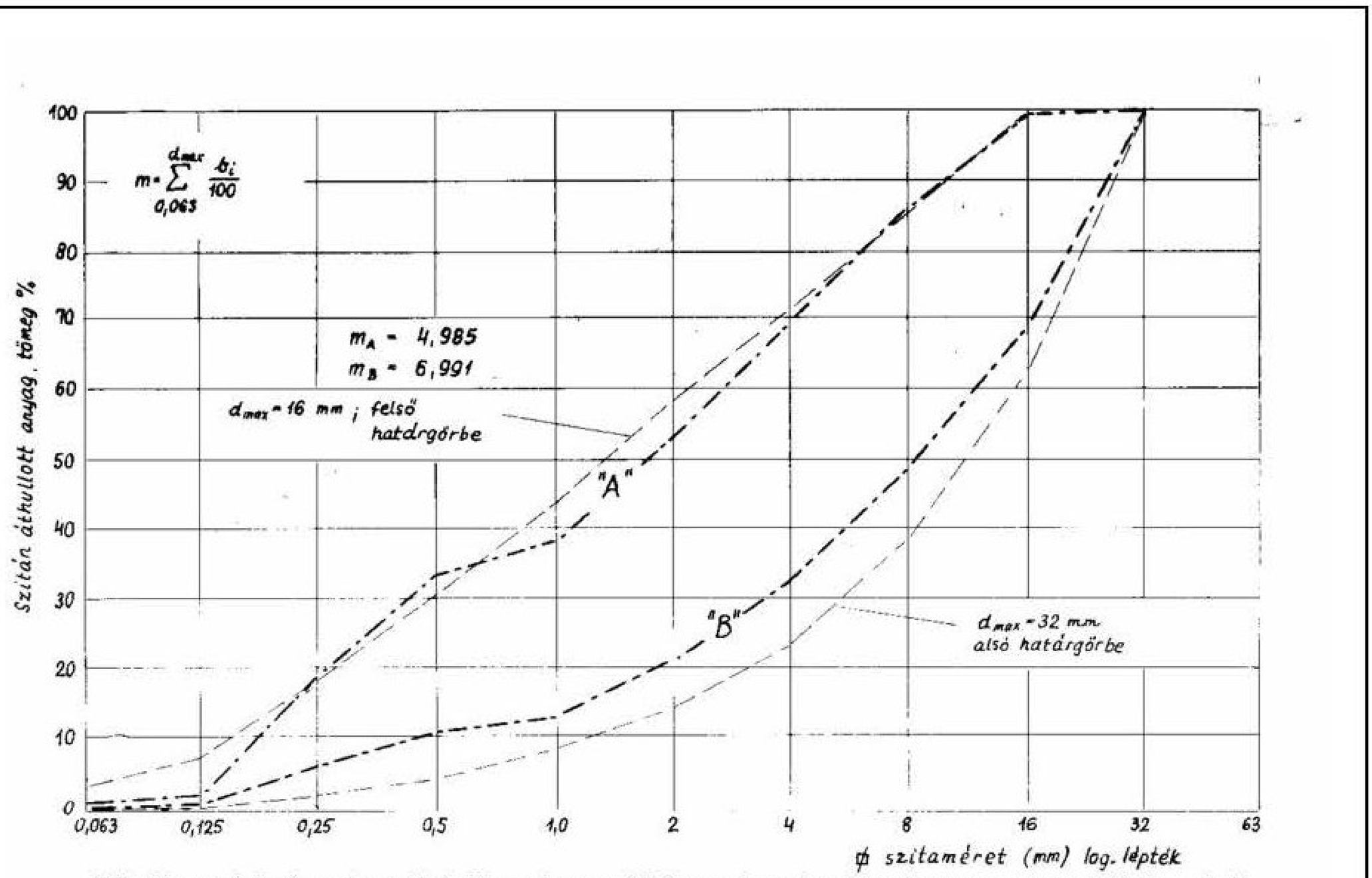
vízadagolás	138 kg/m^3
cementtartalom	140 kg/m^3
adalékanyag tartalom	1900 kg/m^3
víz/cement tényező	0,99
tervezett betonszilárdság	100 daN/cm^2

Az „*A*” jelű adalékanyag keverék cementpép igénye a telített beton készítéséhez 300 liter/m^3, a „*B*” jelű adalékanyag keveréké 248 liter/m^3. A különböző konzisztenciákhoz szükséges vízmennyiség a telített vagy telítetlen betonokra:

Finomsági modulus		4,985	6,991
Vízigény, liter/m^3	FN	155	118
	KK	180	138
	K	205	157
	F	225	171
	Ö	245	188

A fenti adatokat az ÉSZKMI 19-77 műszaki irányelvek 19. ábrája alapján állapítottuk meg, a betonkeverék összetételét ezeknek az adatoknak a figyelembe vételével határoztuk meg. Az összeté-

telek megállapításakor elsősorban a tömöríthetőséghez megfelelő konzisztenciájú és összetartó képességű betonokat kívántunk készíteni, a szilárdság várható értéke másodlagos jelentőségű volt. Az „*A*" és „*B*" jelű szemmegoszlások diagramját a 25. ábrán rajzoltuk meg.



25. ábra: A betonvizsgálatokhoz használt homokos-kavicsok szemmegoszlási görbéi

4.2. A próbatestek készítése és vizsgálata

Minden betonkeverékből olyan mennyiséget készítettünk, hogy abból kb. 30 db 20 cm élhosszúságú próbakockát, valamint 1 db 135.110.20 cm méretű lemezt lehessen betonozni.

Az *„A1"* jelű betonkeveréket 1978. szept. 20.-án készítettük el. A rendelkezésre álló keverőgép 175 liter névleges űrtartalmú kényszerkeverőgép volt, így a szükséges betont három keveréssel állítottuk elő. Valamennyi keverék konzisztenciája kevéssé képlékeny volt, a konzisztenciát terüléssel és roskadással, valamint RILEM-Glanville tömörödési mérőszám meghatározásával ellenőriztük. A beton roskadása nem volt mérhető és a rázóasztalon a keverék szétpergett. Megmértük a tizenötszöri ejtegetés után megmaradt kúp magasságát, ennek adatai: első keverék 12,5 cm, második keverék 13,0 cm és a harmadik keverék 14,5 cm.

A tömörödési mérőszámok értékei: első keverék 0,816; második keverék 0,816 és harmadik keverék 0,78.

A három keveréket nagyméretű fémtálba helyeztük, egymás fölött rétegekben elterítve. A kockapróbatestek készítésekor egy-egy próbatesthez mind a három rétegből emeltünk ki betont. A kockákat laboratóriumi asztalvibrátoron tömörítettük 45 s tömörítési idővel. A próbatestek tömege és testsűrűsége friss állapotban az 5. táblázatban található.

Az 5. táblázat adataiból az átlagos testsűrűség : 2298,9 kg/m^3
a testsűrűség szórása : 17,9 kg/m^3
a testsűrűség variációs tényezője: 0,78 %

A beton összetételének tényleges adatai a keverési arány és a testsűrűség alapján (zárójelben a tervezett értékek):

5. táblázat: Az „*A1*” jelű betonkeverékek próbakockának tömege és testsűrűsége

Sorszám	*Tömeg kg*	*Testsű-rűség, kg/m³*	*Sorszám*	*Tömeg kg*	*Testsű-rűség, kg/m³*	*Sorszám*	*Tömeg kg*	*Testsű-rűség, kg/m³*
1	18,20	2275	2	18,20	2275	3	18,65	2331
4	18,45	2306	5	18,30	2288	6	18,50	2313
7	18,30	2288	8	18,40	2300	9	18,30	2288
10	18,45	2306	11	18,45	2306	12	18,40	2300
13	18,30	2288	14	18,20	2275	15	18,25	2281
16	18,35	2294	17	18,4	2300	18	18,30	2288
19	18.40	2300	20	18,35	2294	21	18,75	2344
22	18,30	2288	23	18,30	2275	24	18,65	2331
25	18,50	2313	26	18,35	2294	27	18,55	2319
28	18,50	2313						

cementtartalom	358	(370)	kg/m³
víztartalom	188	(194)	liter/m³
adalékanyag tartalom	1733	(1820)	kg/m³
víz/cement tényező	0,524	(0,52)	

A 28 db betonkockát laboratóriumban készítettük, készítés után nedves ruhával takartuk le és 1 napos korban zsaluztuk ki. A kizsaluzott elemeket ezután szabad levegőre vittük és a 135.110.20 cm méretű elem mellé helyeztük el. A nagyméretű betontestet a szabadban elhelyezett sablonban készítettük el, tűvibrátorral tömörítve. Készítés után nedves ruhával takartuk le és egy napos kortól kezdve mind a nagyméretű elemet, mind a mellé helyezett próbakockákat bő vízzel meglocsoltuk és műanyag fóliával letakartuk. Az elemet 21 napos korban az ÉMI budapesti laboratóriumába szállítottuk, ahol abból 20 cm élhosszúságú kockákat vágattunk ki kővágógépen.

A kivágott kockákat és a próbatesteket törés előtt két napig tároltuk laboratóriumi hőmérsékleten. A beton nyomószilárdságát 1978.11.4.-én vizsgáltuk meg. A kockák vizsgálatának eredményeit a 6. táblázat, az elemből kivágott testekét a 7. táblázat tartalmazza.

6. táblázat: az „A1” jelű próbakockák nyomószilárdságának vizsgálati eredményei

Sor-szám	Testsü-rüség, kg/m³	Nyomó-szil., N/mm²,	Sor-szám	Testsü-rüség, kg/m³	Nyomó-szil., N/mm²,	Sor-szám	Testsü-rüség, kg/m³	Nyomó-szil., N/mm²
1	2250	30,0	2	2250	32,5	3	2288	31,2
4	2288	36,5	5	2263	33,5	6	2275	33,2
7	2250	31,0	8	2263	33,5	9	2250	32,8
10	2263	33,4	11	2269	27,8	12	2263	28,5
13	2263	33,5	14	2250	30,8	15	2250	34,0
16	2256	32,0	17	2263	33,8	18	2263	29,3
19	2250	31,8	20	2263	32,0	21	2306	32,2
22	2256	32,0	23	2250	29,0	24	2288	32,8
25	2269	30,0	26	2250	30,0	27	2294	33,2
28	2281	30,5						

7. táblázat: Az „A1” elemből kivágott próbatestek nyomószilárdságának a vizsgálati eredményei

Sor-szám	Térfogat, cm^3	Testsü-rüség, kg/m^3	Nyomó-szil., N/mm^2	Sor-szám	Térfogat, cm^3	Testsü-rüség, kg/m^3	Nyomó-szil., N/mm^2
1	804,8	2293	30,1	11	812,0	2248	29,8
2	804,0	2301	31,6	12	838,0	2287	26,3
3	803,0	2260	29,9	13	824,0	2227	25,7
4	828,0	2222	28,5	14	806,0	2277	31,3
5	830,0	2271	32,1	15	812,0	2260	31,0
6	824,0	2294	27,2	16	826,0	2306	30,8
7	824,0	2288	31,6	17	802,0	2313	32,4
8	808,0	2333	28,0	18	820,0	2244	29,0
9	802,0	2301	30,7	19	810,0	2253	28,2
10	808,0	2234	27,6	20	814,0	2340	30,2

A 6. táblázat adatai alapján az *„A1”* jelű betonkockák jellemzői a következők::

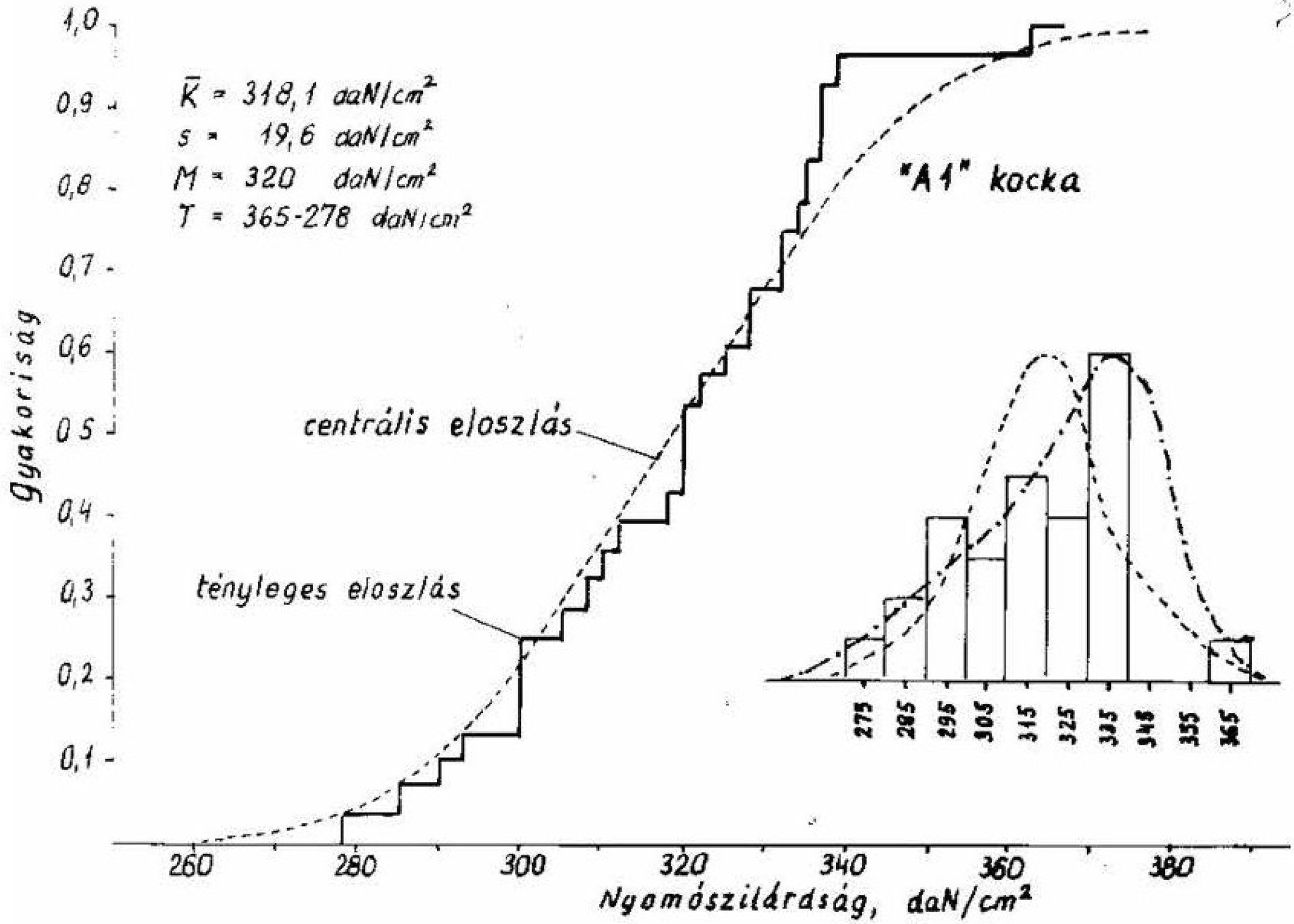
- átlagos nyomószilárdság: 31,81 N/mm^2
- a nyomószilárdság szórása: 1,96 N/mm^2
- a variációs tényező: 6,2 %
- a terjedelem: 36,5 – 27,8 = 8,7 N/mm^2
- átlagos törési testsűrűség: 2265 kg/m^3
- a testsűrűség szórása: 15,8 kg/m^3
- a testsűrűség variációs tényezője: 0,7 %
- a testsűrűség terjedelme: 2306 – 2250 = 56 kg/m^3

A 7. táblázat adatai alapján az *„A1”* jelű lemezből kivágott elemek jellemzői a következők:

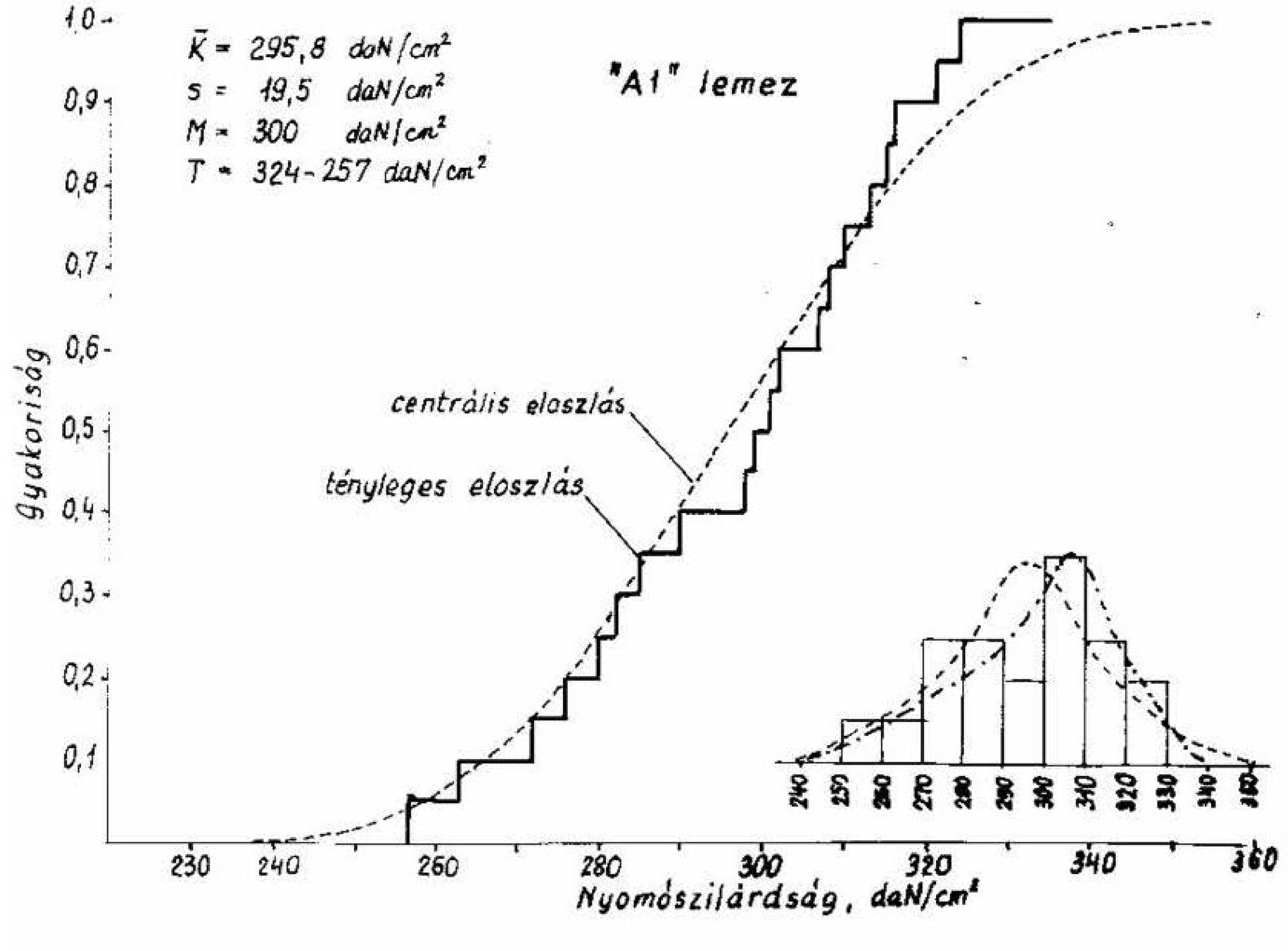
- átlagos nyomószilárdság: 29,58 N/mm^2
- a nyomószilárdság szórása: 1,95 N/mm^2
- a variációs tényező: 6,6 %
- a terjedelem: 32,4 – 25,7 = 6,7 N/mm^2
- átlagos törési testsűrűség: 2278 kg/m^3
- a testsűrűség szórása: 33,8 kg/m^3
- a testsűrűség variációs tényezője: 1,5 %
- a testsűrűség terjedelme: 2340 – 2227 = 113 kg/m^3

A vizsgálat eredményeit a 26. ábrán is feldolgoztuk. Az ábra felső részén a kockapróbatesteket, az alsó részén az elemből kivágott testek vizsgálati adatai láthatók. Az ábrán feltüntettük a medián értékét is, azaz a nagyság szerint rendezett eredmények közül a középső értéket. A tényleges eloszlás – az ábra szerint – nem centrális, hanem kissé jobbra ferdül.

Az *„A2”* jelű betonkeveréket 1978. szeptember 25.-én készítettük el. 175 liter névleges űrtartalmú keverőgépben, három keveréssel. A keverékek konzisztenciája – szemrevételezés alapján – erősen képlékeny volt. A terülés átlagos értéke 40 cm volt, RILEM-Glanville tömörödési mérőszámot nem mértünk. Meg kell jegyezzük, hogy a három keveréket a keverőgépnél elhelyezett nagyméretű fémtálba öntöttük, majd targoncával szállítottuk át a betonozás helyére (kb. 200 m távolságra). Szállítás közben a keverék a vizet feladta. Amikor a fémtálból a betont a lemezsablonba lapátoltuk át, akkor a feladott víz nagy részét is átlapátoltuk, így a lemez betonjának a víz/cement tényezője nagyobb lett, mint a megmaradt betonból készített próbakockák betonjáé. A szemre erősen képlékeny konzisztencia ennek következtében csökkent a kevéssé képlékeny-képlékeny konzisztencia tartományt jellemző 40 cm terülésűre.



26. ábra: Az "A1" jelü betonkeverék vizsgálatának eredményei



A lemez betonját tűvibrátorral, a próbakockákét laboratóriumi asztalvibrátorral tömörítettük, utóbbi esetben a tömörítési idő 10 s volt. A próbakockák tömeges és testsűrűsége friss állapotban a 8. táblázatban látható.

8. táblázat: Az „A2" jelű betonkeverékek próbakockáinak tömeges és testsűrűsége

Sorszám	Tömeg, kg	Testsűrüség, kg/m³	Sorszám	Tömeg, kg	Testsűrüség, kg/m³	Sorszám	Tömeg, kg	Testsűrüség, kg/m³
1	17,90	2238	2	17,80	2225	3	17,80	2225
4	17,80	2225	5	17,90	2238	6	17,90	2238
7	17,90	2238	8	17,90	2238	9	17,90	2238
10	18,00	2250	11	18,00	2250	12	18,05	2256
13	17,90	2238	14	17,90	2238	15	18,00	2250
16	18,10	2263	17	17,90	2238	18	18,00	2250
19	17,95	2244	20	17,75	2219	21	17,85	2231
22	17,90	2238	23	18,00	2250			

9. táblázat: Az"A2" jelű próbakockák nyomószilárdság vizsgálatának eredményei

Sorszám	Testsűrüség, kg/m³	Nyomószil., N/mm²	Sorszám	Testsűrüség, kg/m³	Nyomószil., N/mm²	Sorszám	Testsűrüség, kg/m³	Nyomószil., N/mm²
19	2113	4,88	23	2100	5,05	21	2094	5,08
14	2125	5,10	2	2106	5,13	11	2125	5,20
12	2125	5,20	16	2131	5,20	22	2113	5,23
9	2113	5,25	15	2131	5,25	8	2094	5,33
6	2100	5,38	18	2125	5,38	20	2119	5,45
3	2106	5,48	5	2119	5,48	4	2106	5,58
17	2125	5,58	10	2125	5,60	13	2125	5,75
1	2125	5,90	7	2118	6,05			

10. táblázat Az „A2" jelű elemből kivágott próbatestek vizsgálati eredményei

Sorszám	Térfogat, cm³	Testsűrüség, kg/m³	Nyomószil., N/mm²	Sorszám	Térfogat, cm³	Testsűrüség, kg/m³	Nyomószil., N/mm²
2	8290	2171	2,6	3	8310	2202	2,7
7	8230	2236	2,7	13	8310	2118	2,7
12	8360	2147	2,7	15	8290	2171	3,0
6	8200	2183	3,2	1	8290	2165	3,2
14	8380	2172	3,2	4	8300	2169	3,4
9	8050	2298	3,5	8	8150	2258	3,6
5	8370	2151	3,5	16	8430	2135	3,6
11	8420	2167	3,7	10	8490	2073	3,8
17	8390	2139	4,2				

A 8. táblázat adataiból az átlagos testsűrűség: 2238,6 kg/m^3, a testsűrűség szórása: 12,2 kg/m^3, a testsűrűség variációs tényezője: 0,5 %. A beton összetételének tényleges adatai a keverési arány és a testsűrűség alapján (zárójelben a tervezett értékek:

cementtartalom :	142 (140)	kg/m^3
víztartalom:	224 (220)	kg/m^3
adalékanyag tartalom:	1872 (1820)	kg/m^3
víz/cement tényező:	1,571 (1,67)	

A próbakockák, ill. a nagyméretű lemez készítése és utókezelése megegyezett az *„A1”* jelű keverékével. A próbakockák vizsgálatának eredményeit a 9. táblázat, a nagyméretű lemezből kivágott testekét a 10. táblázat tartalmazza. A 9. táblázat adatai alapján az *„A2”* jelű betonkockák jellemzői a következők:

átlagos nyomószilárdság:	5,37	N/mm^2
a nyomószilárdság szórása:	0,28	N/mm^2
a nyomószilárdság variációs tényezője:	5,3	%
a nyomószilárdság terjedelme:	6,05 – 4,88 = 1,17	N/mm^2
átlagos törési testsűrűség:	2115, 8	kg/m^3
a testsűrűség szórása:	11,6	kg/m^3
a testsűrűség variációs tényezője:	0,6	%
a testsűrűség terjedelme:	2131 – 2094 = 37	kg/m^3

Az *„A2”* lemezből csak azért sikerült mindössze 17 db próbakockát kivágni, mert az elem szállítás közben megrepedt. A 10. táblázat adatai alapkán az *„A2”* jelű lemezből kivágott próbatestek vizsgálati eredményei:

átlagos nyomószilárdság:	3,25	N/mm^2
a nyomószilárdság szórása:	0,48	N/mm^2
a nyomószilárdság variációs tényezője:	14,9	%
a nyomószilárdság terjedelme:	4,24 – 2,60 = 1,64	N/mm^2
átlagos törési testsűrűség:	2174	kg/m^3
a testsűrűség szórása:	52,8	kg/m^3
a testsűrűség variációs tényezője:	2,4	%
a testsűrűség terjedelme:	2298 – 2073 = 225	kg/m^3

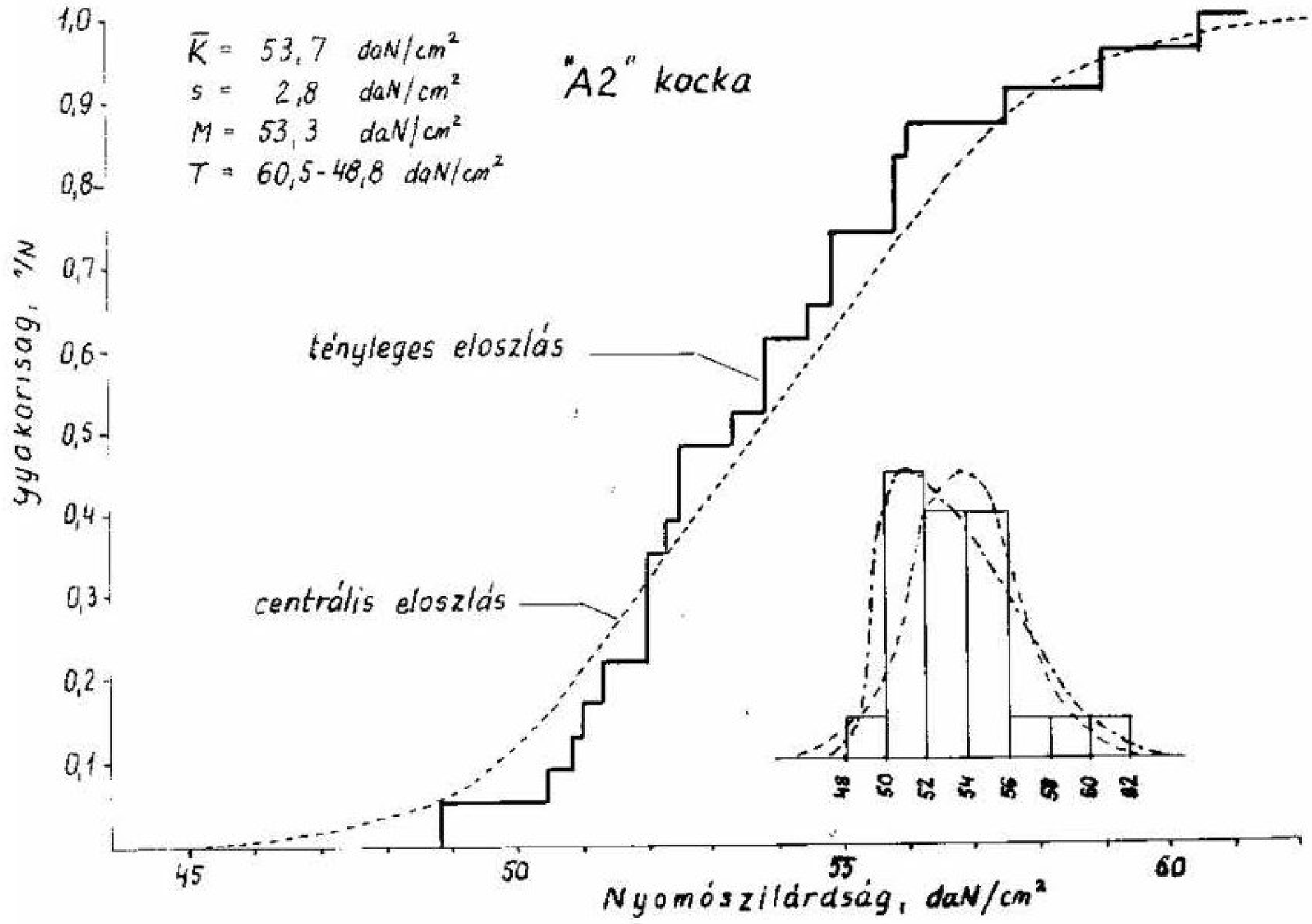
A vizsgáltok eredményeit a 27. ábrán is feldolgoztuk. Az ábra felső részén a kockapróbatestek, az alsó részén az elemből kivágott testek vizsgálati adatai láthatók. A tényleges eloszlás – az ábra szerint – balra ferdülő, tehát nem centrális.

A *„B1”*jelű betonkeveréket 1978. szeptember 27.-én készítettük el, 175 liter névleges űrtartalmú keverőgépben, három keveréssel. A keverékek konzisztenciája – szemrevételezés alapján – kevéssé képlékeny volt. A terülés átlagosan 35 cm-re (33-36 cm), a RILEM-Glanville tömörödési mérőszám átlagosan 0,853 (0,813-0,878) értékűre adódott. A három keveréket külön-külön szállítottuk át (konténerben) a betonozás helyére, ahol nagyméretű fémtálcában egyenletesen elterítettük.

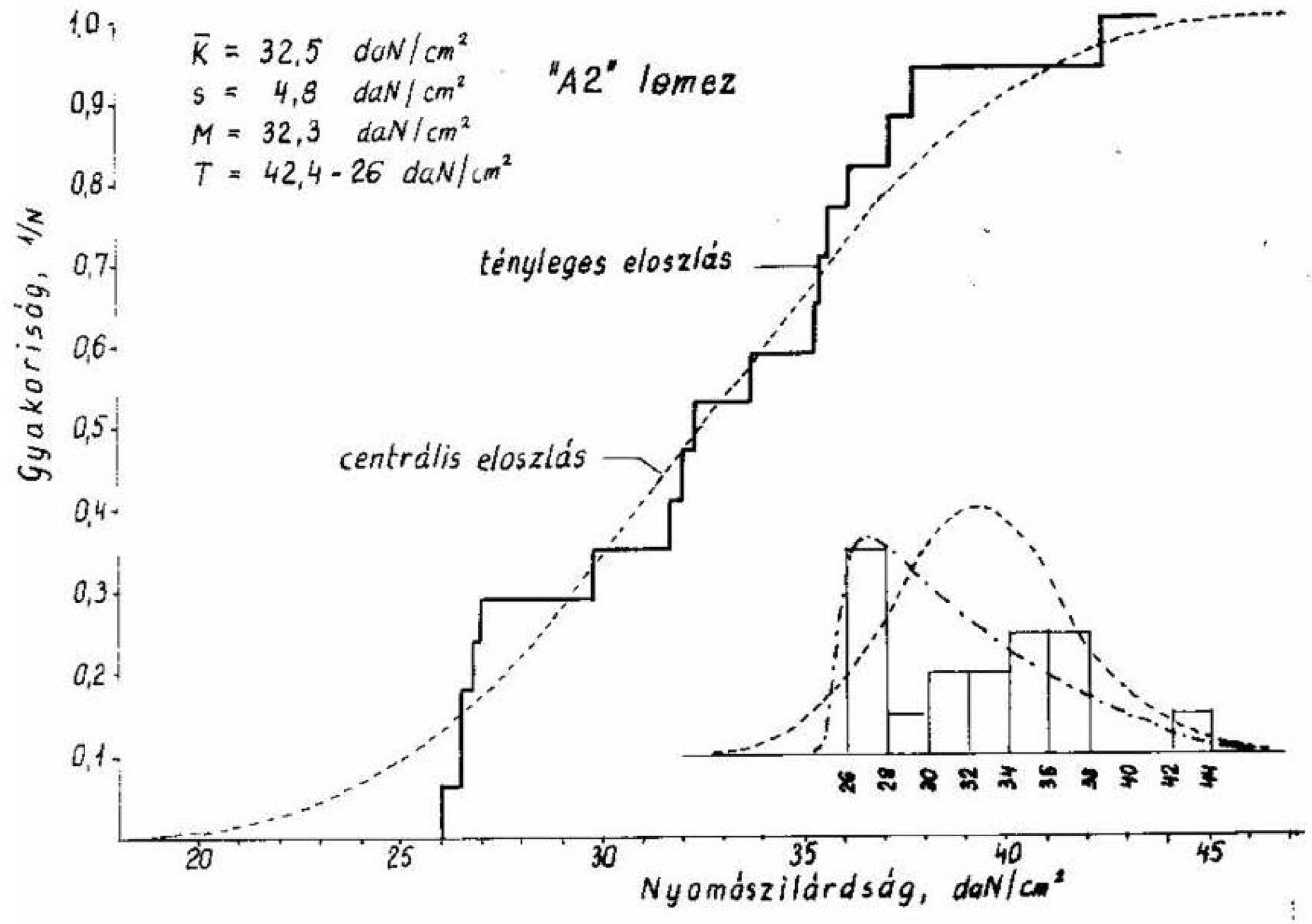
A lemez betonját tűvibrátorral, a próbakockákat laboratóriumi asztalvibrátoron 45 s tömörítési idővel tömörítettük. A próbatestek tömege és testsűrűsége friss állapotban a 11. táblázatban látható. A táblázat adataiból az átlagos testsűrűség 2454,3 kg/m^3, a testsűrűség szórása 10,6 kg/m^3 és a testsűrűség variációs tényezője 0,4 %.

A beton összetételének tényleges adatai a keverési arány és a testsűrűség alapján (zárójelben a tervezett értékek) a következők:

cementtartalom	378 (370)	kg/m^3
víztartalom	148 (145)	kg/m^3
adalékanyag tartalom	1890 (1928)	kg/m^3
víz/cement tényező	0,391 (0,392)	



27. ábra: Az "A2" jelü betonkeverék vizsgálatának eredményei



Sor-szám	Tömeg, kg	Testsü-rüség, kg/m3	Sor-szám	Tömeg, kg	Testsü-rüség, kg/m3	Sor-szám	Tömeg, kg	Testsü-rüség, kg/m3
1	19,60	2450	2	19,60	2450	3	19,55	2443,8
4	19,60	2450	5	19,70	2462,5	6	19,45	2431,3
7	19,70	2462,5	8	19,65	2456,3	9	19,75	2468,8
10	19,70	2462,5	11	19,60	2450	12	19,65	2456,3
13	19,60	2450	14	19,70	2462,5	15	19,65	2456,3
16	19,65	2456,3	17	19,70	2462,5	18	19,70	2462,5
19	19,50	2437,5	20	19,60	2450	21	19,75	2468,8
22	19,80	2475	23	19,50	2437,5	24	19,60	2450
25	19,55	2443,8						

A próbakockák, ill. a nagyméretű lemezek készítése és utókezelése megegyezett az *„A1”* jelű keverékével. A próbakockák vizsgálati eredményeit a 12. táblázat, a nagyméretű lemezből kivágott testekét a 13. táblázat tartalmazza.

12. táblázat: A „B1” jelű betonkeverék próbakockáinak nyomószilárdsága és testsűrűsége.

Sor-szám	Testsü-rüség, kg/m3	Nyomó-szil., N/mm2	Sor-szám	Testsü-rüség, kg/m3	Nyomó-szil., N/mm2	Sor-szám	Testsü-rüség, kg/m3	Nyomó-szil., N/mm2
19	2425	44,5	20	2419	44,5	24	2406	45,0
25	2413	46,3	22	2431	47,0	23	2406	47,0
18	2419	47,5	2	2413	48,0	16	2425	48,5
21	2444	48,5	15	2419	48,8	12	2419	49,0
14	2413	49,0	8	2425	49,3	17	2425	49,3
9	2438	49,8	1	2431	50,0	10	2431	50,0
13	2419	50,3	11	2413	50,5	5	2419	51,0
3	2419	51,5	4	2425	51,5	6	2419	51,5
7	2431	53,0						

13. táblázat: A „B1” jelű elemből kivágott próbatestek vizsgálati eredményei

1	*2*	*1*	*2*	*1*	*2*	*1*	*2*	*1*	*2*
14	24,1	29	34,4	3	36,3	24	38,2	19	41,9
18	28,5	9	34,5	25	37,4	27	38,3	4	41,9
5	30,4	10	35,7	1	37,5	30	38,4	21	42,4
28	30,4	26	35,8	23	37,7	13	39,9	15	42,9
17	32,5	22	35,9	6	38,1	12	40,6	8	43,7
20	33,8	16	37,4	11	38,1	7	41,8	2	45,3

Jelmagyarázat? 1.: Sorszám 2.: Nyomószilárdság, N/mm²

A 12. táblázat adatai alapján a *„B1”* jelű betonkeverékből készített betonkockák jellemzői a következők:

- átlagos nyomószilárdság: 48,9 N/mm²
- a nyomószilárdság szórása: 2,24 N/mm²

- a nyomószilárdság variációs tényezője: 4,6 %
- a nyomószilárdság terjedelme: 53 – 44,5 = 8,5 N/mm^2
- az átlagos törési testsűrűség: 2421,9 kg/m^3
- a testsűrűség szórása: 9,2 kg/m^3
- a testsűrűség variációs tényezője: 0,38 %
- a testsűrűség terjedelme: 2444 – 2406 = 38 kg/m^3

A nagyméretű lemezből kivágott próbatestek vizsgálati eredményei a 13. táblázat alapján:

- átlagos nyomószilárdság: 37,1 N/mm^2
- a nyomószilárdság szórása: 4,75 N/mm^2
- a nyomószilárdság variációs tényezője: 12,8 %
- a nyomószilárdság terjedelme: 45,3 – 24,1 = 21,2 N/mm^2

Mivel a kivágott próbakockák méretei nem voltak pontosak, ezért a testsűrűséget a töréskor nem értékeltük.

A vizsgálatok eredményeit a 28. ábrán is feldolgoztuk. Az ábra felső részén a kockapróbatestek, az alsó részén az elemből kivágott testek vizsgálati adatai láthatók. A tényleges eloszlás – az ábra szerint – a kockapróbatestek esetén centrális jellegű, a lemezből kivágott testek esetén azonban jobbra ferdülő.

A roncsolásos vizsgálat elkezdése előtt a kockapróbatestek szilárdságát roncsolásmentes eszközökkel is ellenőriztük: ultraszónikus berendezéssel és Schmidt kalapáccsal. Az ultraszónikus vizsgálat eredményeit a 29. ábrán, a Schmidt-kalapáccsal végzett vizsgálatokét a 30. és 31. ábrán rajzoltuk meg.

A 29. ábra szerint z ultraszónikus vizsgáló berendezés érzékenysége nem volt elegendő arra, hogy az adatokat értékelni lehessen. A 30. ábrán a lemezből kivágott próbatestek Schmidt-kalapáccsal és roncsolással végzett szilárdságvizsgálatának eredményei láthatók. Ha független változónak a visszapattanási értékeket tekintjük, akkor a függő változó (a nyomószilárdság) értéke az alábbi képletből számítható:

$$K = 23,7 \times x - 647$$

Ha viszont a független változó a nyomószilárdság, akkor a visszapattanás értéke:

$$X = 0,15 + 37,3$$

A 31.ábrán a próbakockák Schmidt-kalapács visszapattanási értékeinek és roncsolással vizsgált szilárdságának az eredményei láthatók. Ha független változónak a visszapattanási értékeket tekintjük, akkor a függő változó (a nyomószilárdság) értéke:

$$K = 11,9 \times x - 32$$

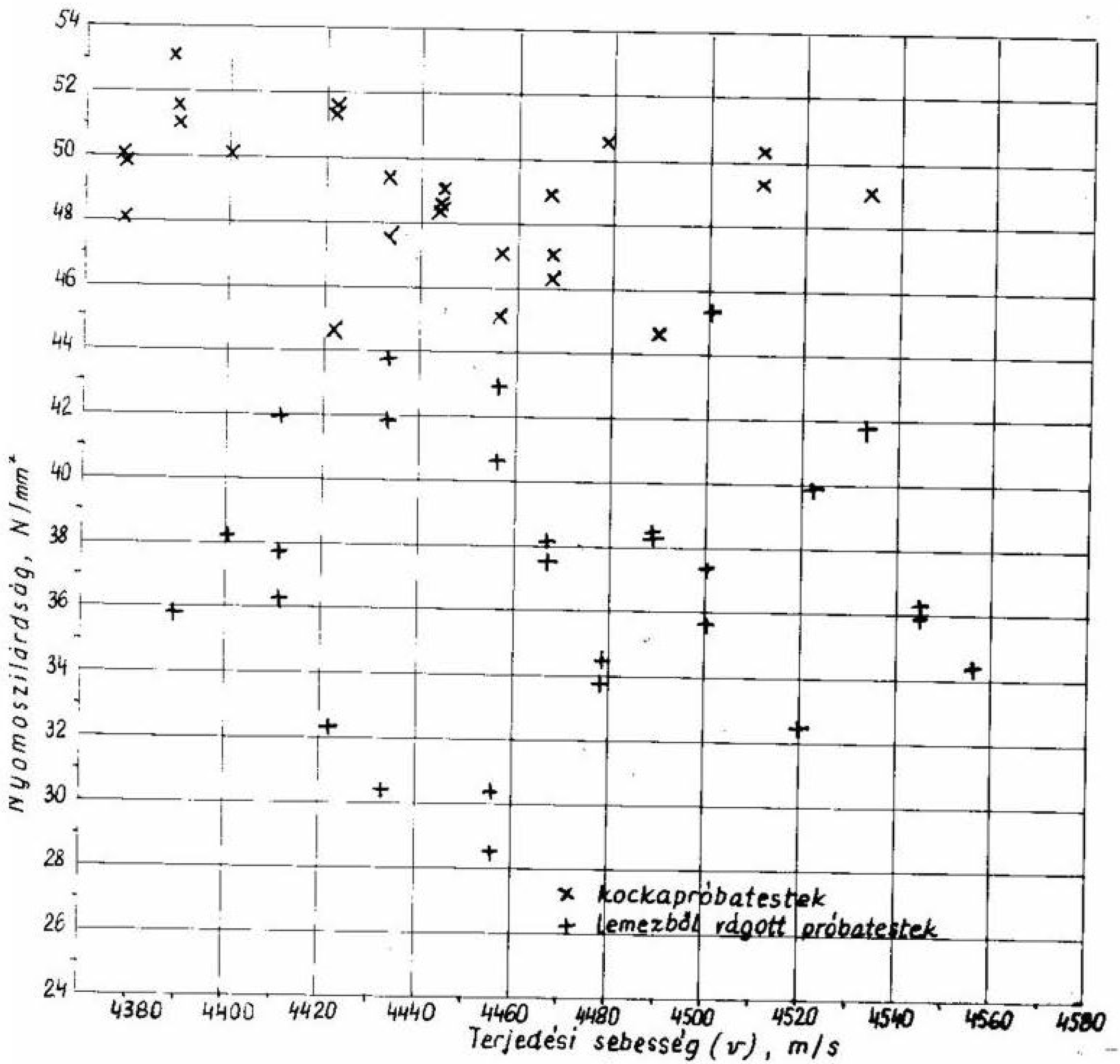
Ha viszont a független változó a nyomószilárdság, akkor a függő változó (a visszapattanás) mértéke:

$$x = 0,03 \times K - 29$$

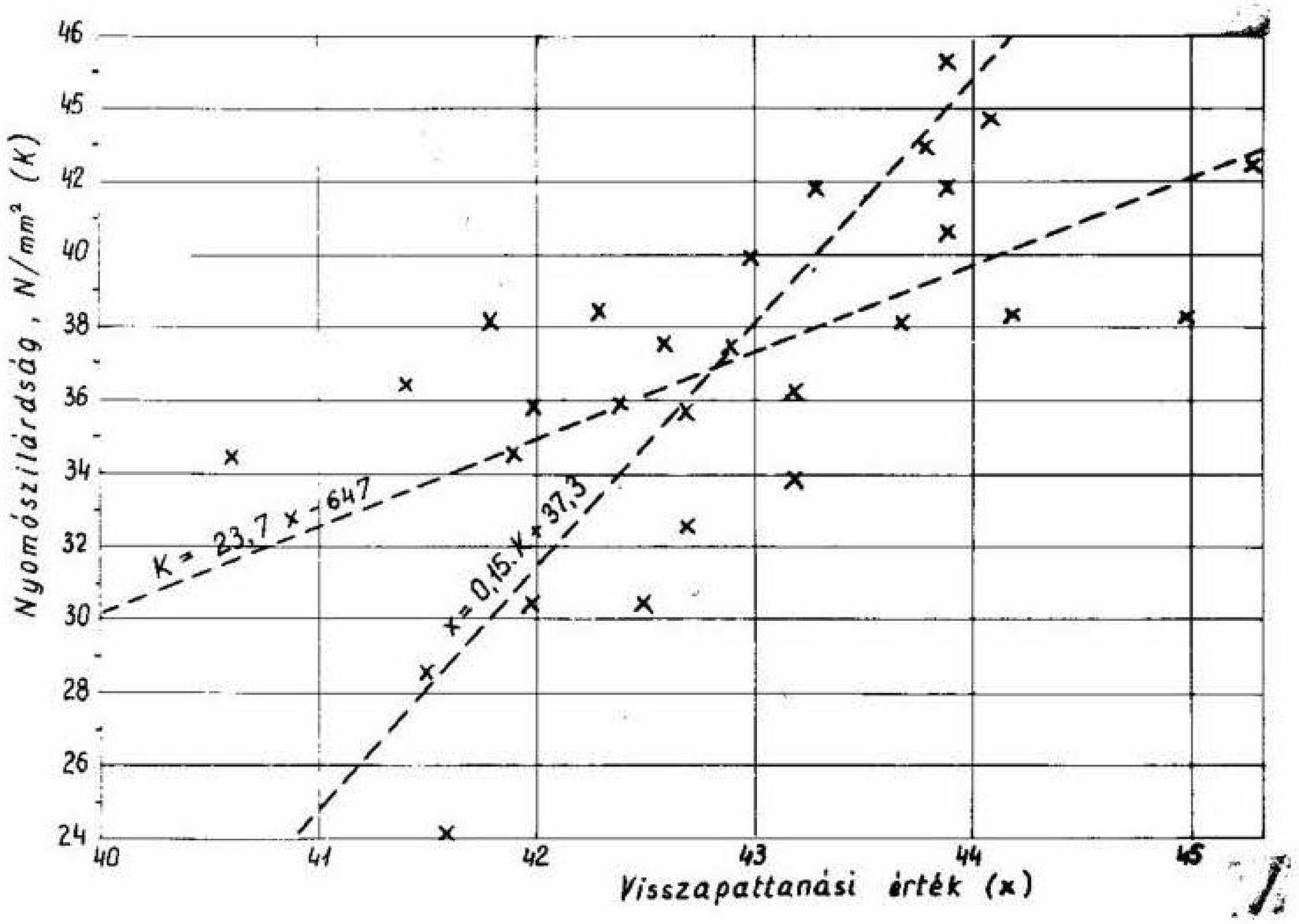
Ismeretes, hogy a korrelációs együttható értéke az alábbi képletből számítható:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(x_i - \bar{x}\right)\times\left(y_i - \bar{y}\right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}\left[\left(x_i - \bar{x}\right)^2\right]\times\left[\sum_{i=1}^{n}\left(y_i - \bar{y}\right)^2\right]}}$$

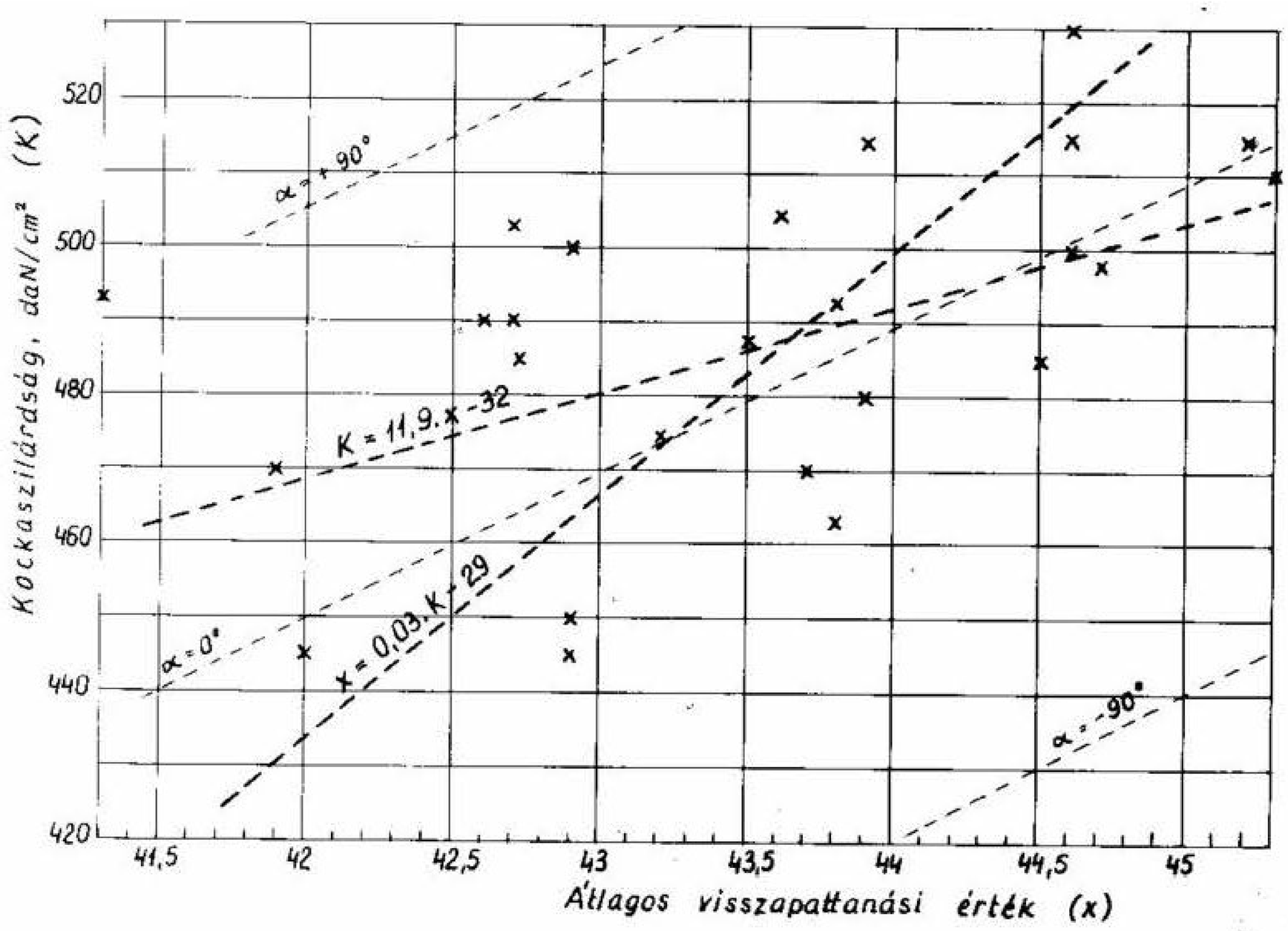
A lemezből kivágott próbatestek esetén a Schmidt-kalapácsos vizsgálat korrelációs együtthatója: $r_1 = 0,635$; míg a sablonban gyártott próbakockák esetén: $r_2 = 0,768$.



29. ábra: A „B1" jelű betonkeverék ultraszónikus és roncsolásos vizsgálatának az eredményei

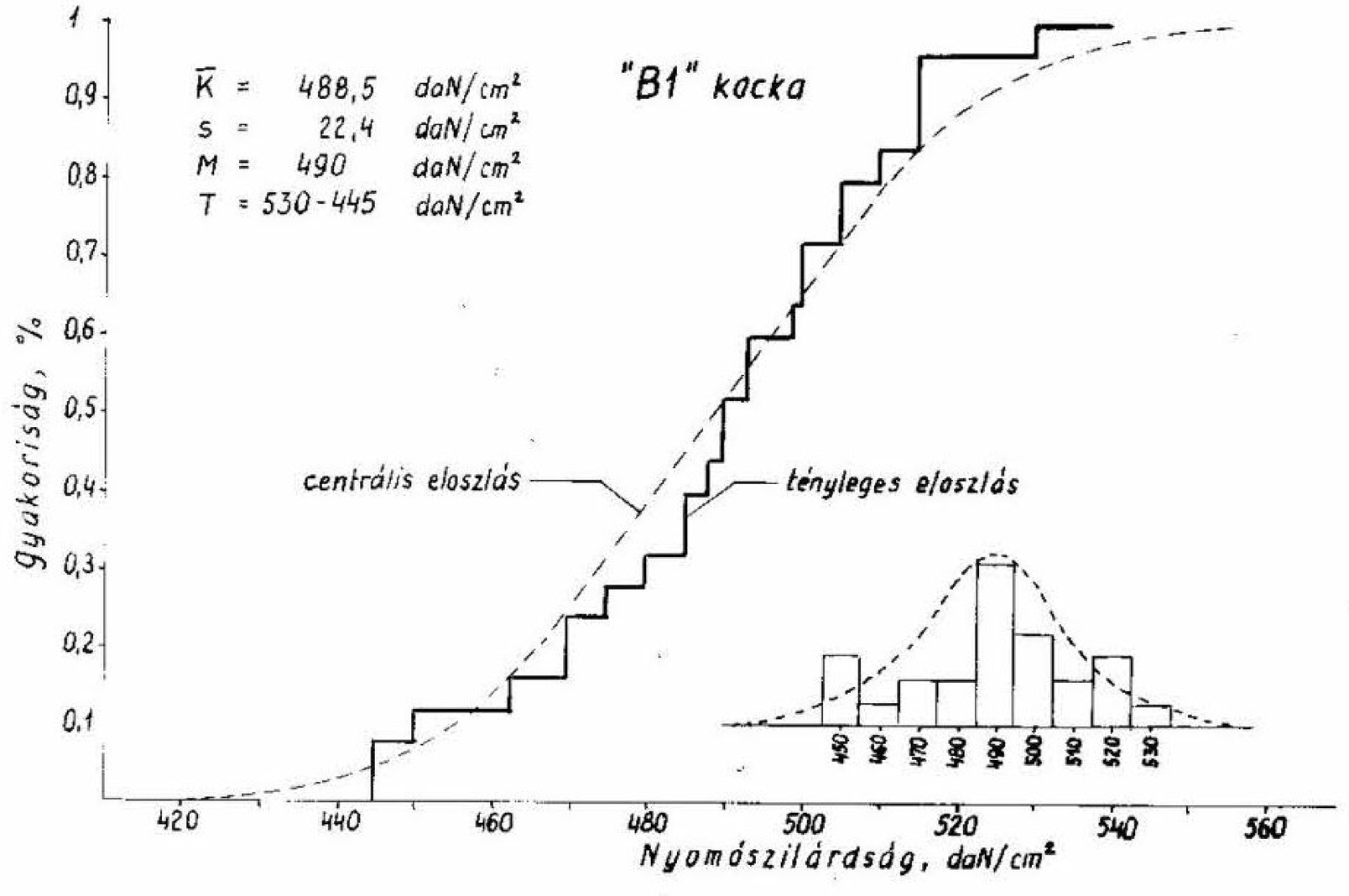


30. ábra: A „B1" jelű lemezből kivágott próbatestek Schmidt-kalapácsos és roncsolásos vizsgálatának eredményei

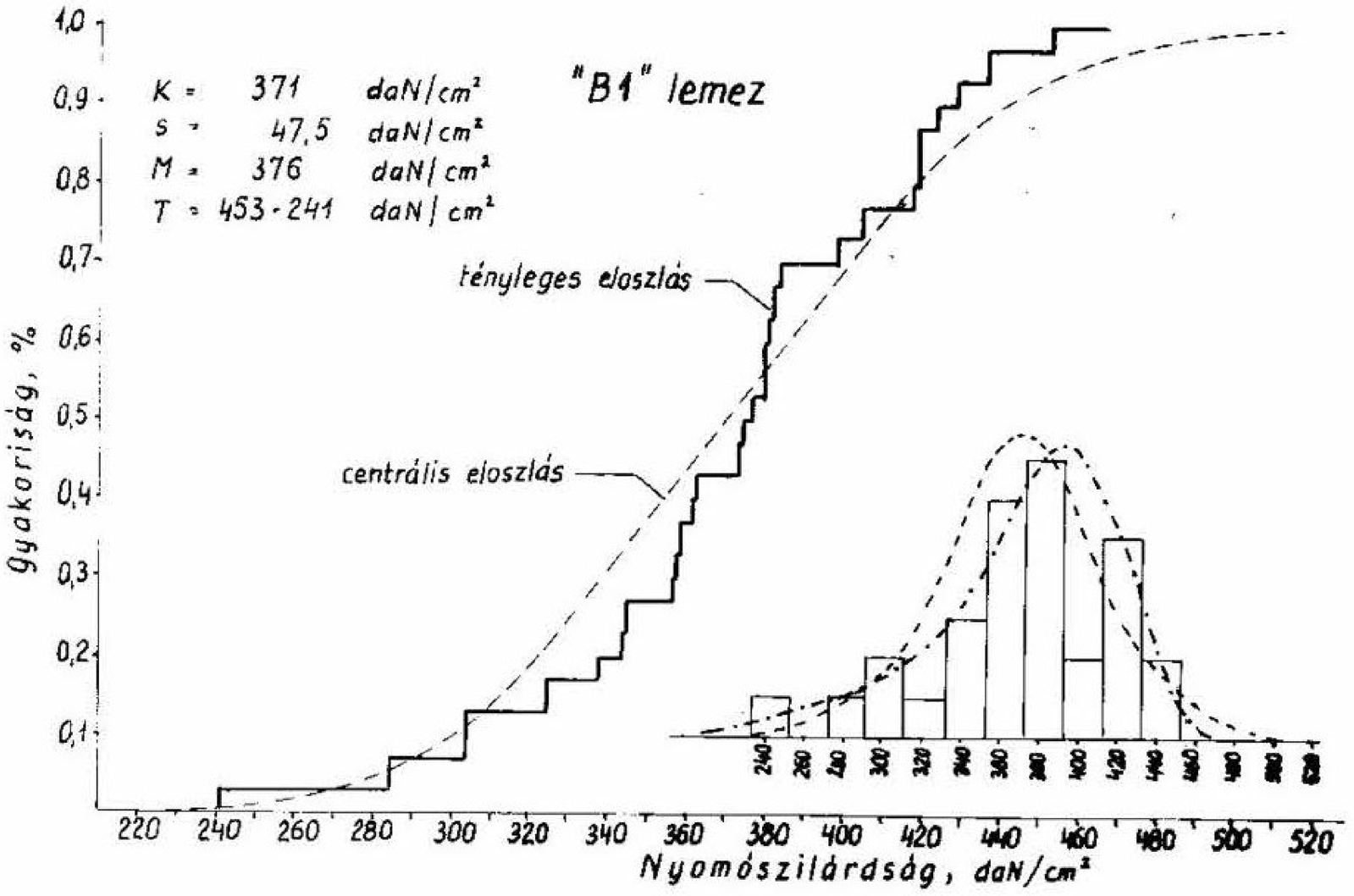


31. ábra: A „B1" jelű betonkeverékből készített próbatestek Schmidt-kalapácsos és roncsolásos nyomószilárdság vizsgálatának eredményei

Az eredmények szerint tehát a kivágott próbatesteken mért visszapattanási értékek és a nyomószilárdság között nincs kielégítő korreláció, ugyanakkor a sablonban gyártott próbatestek esetén a korreláció megállapítható.



28.ábra: A "B1" jelü betonkeverék vizsgálatának eredményei



A lemezekből a próbatesteket kővágógépen vágattuk ki, ennek következtében felületük tükörsima, csiszolt lappá alakult. A próbatestek egy-egy felületén 10 visszapattanási értéket mértünk, ezek jelentős része azonban 50-70 érték között mozgott. Ezeket a nyilvánvalón magas értékeket nem vettük figyelembe. Ennek ellenére a megmaradt adatok is messze nagyobb visszapattanási érékűek voltak, mint ami az adott betonszilárdság mellett várható. Ez is felhívja a figyelmet arra, hogy a Schmidt-kalapácsos vizsgálatok esetében a felület előkészítésének nagyon nagy a jelentősége.

A 31. ábrán a Schmidt-kalapácson lévő értékelő diagram görbéinek a vonalait is megadtuk. A vizsgálat során a próbatesteket a törőgépbe helyeztük és kb. 2 t erővel megterheltük, majd a kalapácsot $\alpha = 0^\circ$ (vízszintes) helyzetben tartva végeztük el a vizsgálatot. Ha a kalapács saját diagramja alapján határozzuk meg a visszapattanási értékekhez tartozó szilárdságokat, akkor a 14. táblázat eredményeihez jutunk.

A táblázat adatai alapján:

- a visszapattanási értékek átlaga: 43,5
- a visszapattanási értékek szórása: 1,05
- a visszapattanási értékek variációs tényezője: 2,41 %
- a nyomószilárdságok átlaga: 48,0 N/mm^2
- a nyomószilárdságok szórása: 2,09 N/mm^2
- a nyomószilárdságok variációs tényezője: 4,35

Összehasonlítva a fenti adatokat a roncsolásos vizsgálatok 12. táblázatban lévő adatainak a kiértékelésével, megállapítható, hogy a Schmidt-kalapácsos vizsgálat alapján jó egyezés adódott mind az átlagos nyomószilárdság, mind a nyomószilárdsági szórás roncsolásos értékével. Bár ez az egy vizsgálat nem elegendő az általános következtetések levonására, de felhívja a figyelmet a további, ezirányú vizsgálatok jogosultságára.

14. táblázat: A Schmidt-kalapács saját értékelő diagramjából meghatározott nyomószilárdságok

Sor-szám	Vissza-patta-nás	Nyomó-szil., N/mm2	Sor-szám	Vissza-patta-nás	Nyomó-szil., N/mm2	Sor-szám	Vissza-patta-nás	Nyomó-szil., N/mm2
1	42,8	46,5	2	43,9	48,8	3	44,6	50,3
4	45,2	51,3	5	45,3	51,5	6	43,9	48,8
7	44,6	50,3	8	41,3	43,7	9	44,7	50,4
10	44,6	50,3	11	43,6	48,1	12	42,6	46,2
13	42,7	46,4	14	42,7	46,4	15	43,5	47,9
16	44,5	49,9	17	43,8	48,6	18	43,2	47,3
19	42,9	46,8	20	42,0	45,0	21	42,7	46,4
22	41,9	44,8	23	43,7	48,3	24	42,9	46,8
25	43,8	48,6						

A „*B2*" jelű betonkeverékeket 1978. szeptember 28.-án készítettük el 175 liter névleges úrtartalmú keverőgépben, három keveréssel. A három keveréket a keverőgépből nagyméretű fémtálcába ürítettük és így szállítottuk át a betonozás helyére. A keverék konzisztenciája – szemrevételezés alapján – képlékeny volt, a RILEM-Glanville tömörödési mérőszám 0,9 értékűre adódott. A lemez betonját tűvibrátorral, a próbakockákat laboratóriumi asztalvibrátoron 10 s időtartamon át tömörítettük. A próbatestek tömege és testsűrűsége friss állapotban a 15. táblázatban látható.

15. táblázat: A „B"" jelű betonkeverékek próbakockáinak tömege és testsűrűsége

Sor-szám	Tömeg, kg	Testsű-rüség, kg/m3	Sor-szám	Tömeg, kg	Testsű-rüség, kg/m3	Sor-szám	Tömeg, kg	Testsű-rüség, kg/m3
1	19,25	2406,3	2	19,30	2412,5	3	19,40	2425
4	19,35	2418,8	5	19,30	2412,5	6	19,20	2400
7	19,40	2425	8	19,30	2412,5	9	19,30	2412,5
10	19,30	2412,5	11	19,40	2425	12	19,45	2431,3
13	19,50	2437,5	14	19,40	2425	15	19,40	2425
16	19,25	2406,3	17	19,40	2425	18	19,40	2425
19	19,40	2425						

A 15. táblázat adataiból a z átlagos testsűrűség *2419,1 kg/m*^{3}, a testsűrűség szórása *9,7 kg/m*^{3}, a testsűrűség variációs tényezője *0,4 %*. A beton összetételének tényleges adatai a keverési arány és a testsűrűség alapján (zárójelben a tervezett értékek):

cementtartalom	155 (140)	kg/m^3
víztartalom	153 (138)	kg/m^3
adalékanyag tartalom	2111 (1900)	kg/m^3
víz/cement tényező	0,99 (0,99)	

A próbakockák, ill. a nagyméretű lemezek készítése és utókezelése megegyezett az *„A1”* jelű keverékével. A próbakockák vizsgálati eredményeit a 16. táblázat, a nagyméretű lemezből kivágott testekét a 17. táblázat tartalmazza. A 16. táblázat adatai alapján a *„B2”* jelű betonkockák adatai:

- átlagos nyomószilárdság 13,79 N/mm^2
- a nyomószilárdság szórása 1,49 N/mm^2
- a nyomószilárdság variációs tényezője 10,8 %
- a nyomószilárdság terjedelme 15,8-11,0 = 4,8 N/mm^2

16. táblázat: A „B2” jelű betonkeverékek próbakockáinak nyomószilárdsága és testsűrűsége

Sor-szám	Testsü-rüség, kg/m3	Nyomó-szil., N/mm2	Sor-szám	Testsü-rüség, kg/m3	Nyomó-szil., N/mm2	Sor-szám	Testsü-rüség, kg/m3	Nyomó-szil., N/mm2
19	2350	110	18	2343,8	113,3	5	2337,5	122,5
16	2331,3	123,8	17	2362,5	123,8	1	2331,3	124
4	2337,5	128	2	2343,8	135,5	3	2356,3	140
9	2350	142,5	12	2362,5	142,8	15	2356,3	147
10	2356,3	148,3	13	2362,5	150,8	11	2368,8	151,3
8	2350	151,5	6	2337,5	152,5	14	2368,8	154,8
7	2356,3	158						

Megjegyzés: a nyomószilárdság dimenziója helyesen nem N/mm^2, hanem daN/mm^2

17. táblázat: A „B2” jelű lemezből kivágott próbatestek nyomószilárdsága és testsűrűsége

Sor-szám	Térfogat, cm3	Testsü-rüség, kg/m3	Nyomó-szil., N/mm2	Sor-szám	Térfogat, cm3	Testsü-rüség, kg/m3	Nyomó-szil., N/mm2
6	8220	2341,8	106,6	8	8320	2373,8	109,7
15	8320	2391,8	110,2	11	8340	2350,1	110,3
9	8320	2313,7	112,2	23	8360	2392,3	114,3
14	8260	2409,2	115,7	5	8410	2407,9	119,1
25	8280	2367,2	119,8	22	8230	2369,4	120,8
2	8360	2416,3	122,3	7	8360	2398,3	122,3
18	8390	2377,8	122,3	4	8320	2361,8	123,5
10	8390	2377,8	126,9	24	8420	2339,7	128,8
19	8410	2401,9	130,4	1	8380	2428,4	132,3
20	8390	2365,9	133,0	3	8270	2382,1	133,0
16	8180	2383,9	134,5	21	8270	2376,1	135,9
12	8370	2365,6	137,4	17	8280	2379,3	143,4
13	8360	2404,3	146,0				

Megjegyzés: a nyomószilárdság dimenziója helyesen nem N/mm^2, hanem daN/mm^2

A 17. táblázat alapján a „*B2*” jelű lemezből kivágott próbatestek adatai a következők:

- átlagos nyomószilárdság 12,44 N/mm^2
- a nyomószilárdság szórása 1,09 N/mm^2
- a nyomószilárdság variációs tényezője 8,7 %
- a nyomószilárdság terjedelme 14,6 – 10,66 = 3,94 N/mm^2

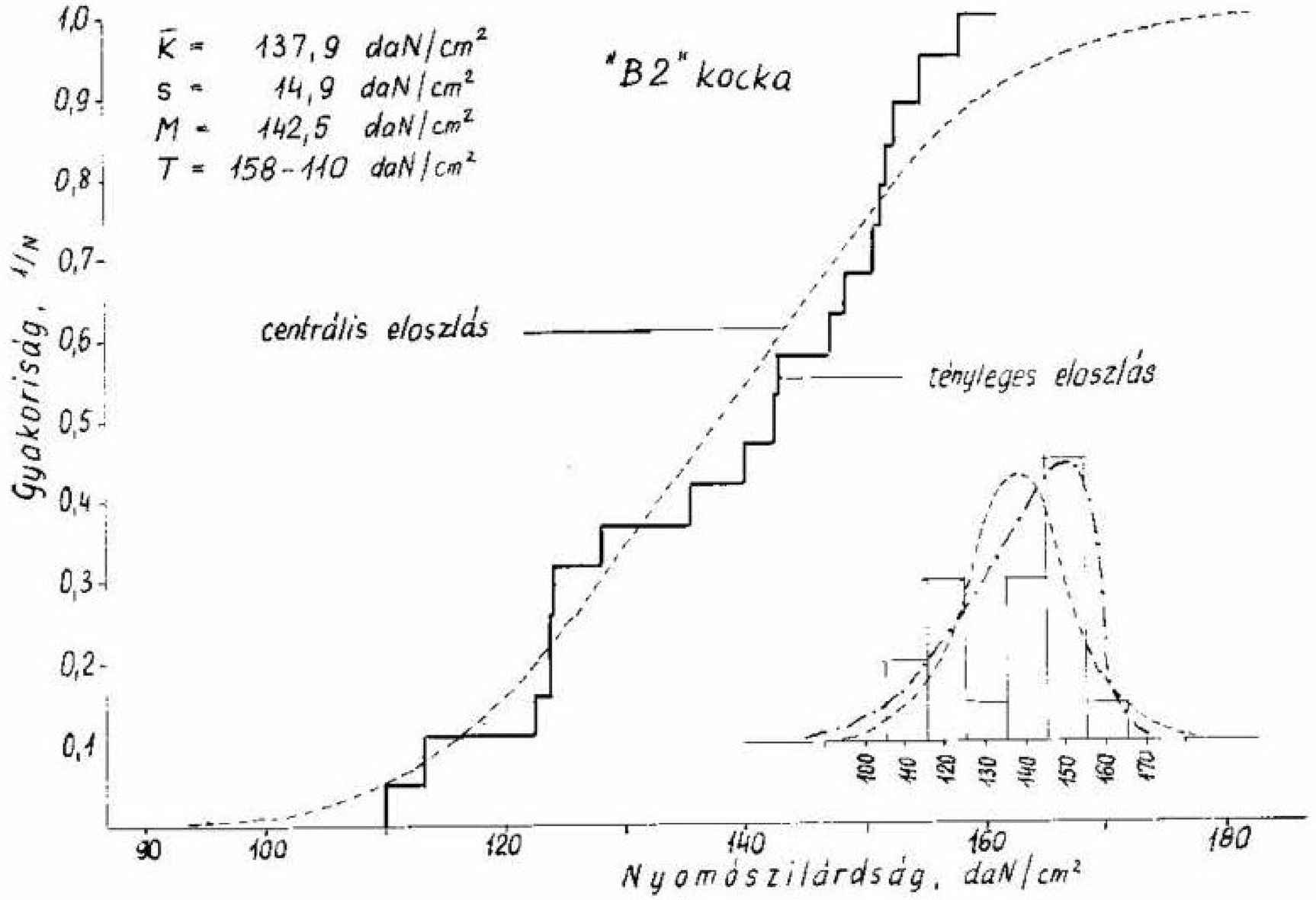
A „*B2*” jelű betonkockák adatai:

- törési testsűrűség 2351 kg/m^3
- a testsűrűség szórása 12 kg/m^3
- a testsűrűség variációs tényezője 0,5 %
- a testsűrűség terjedelem 2368,8 – 2331,3 = 37,5 kg/m^3

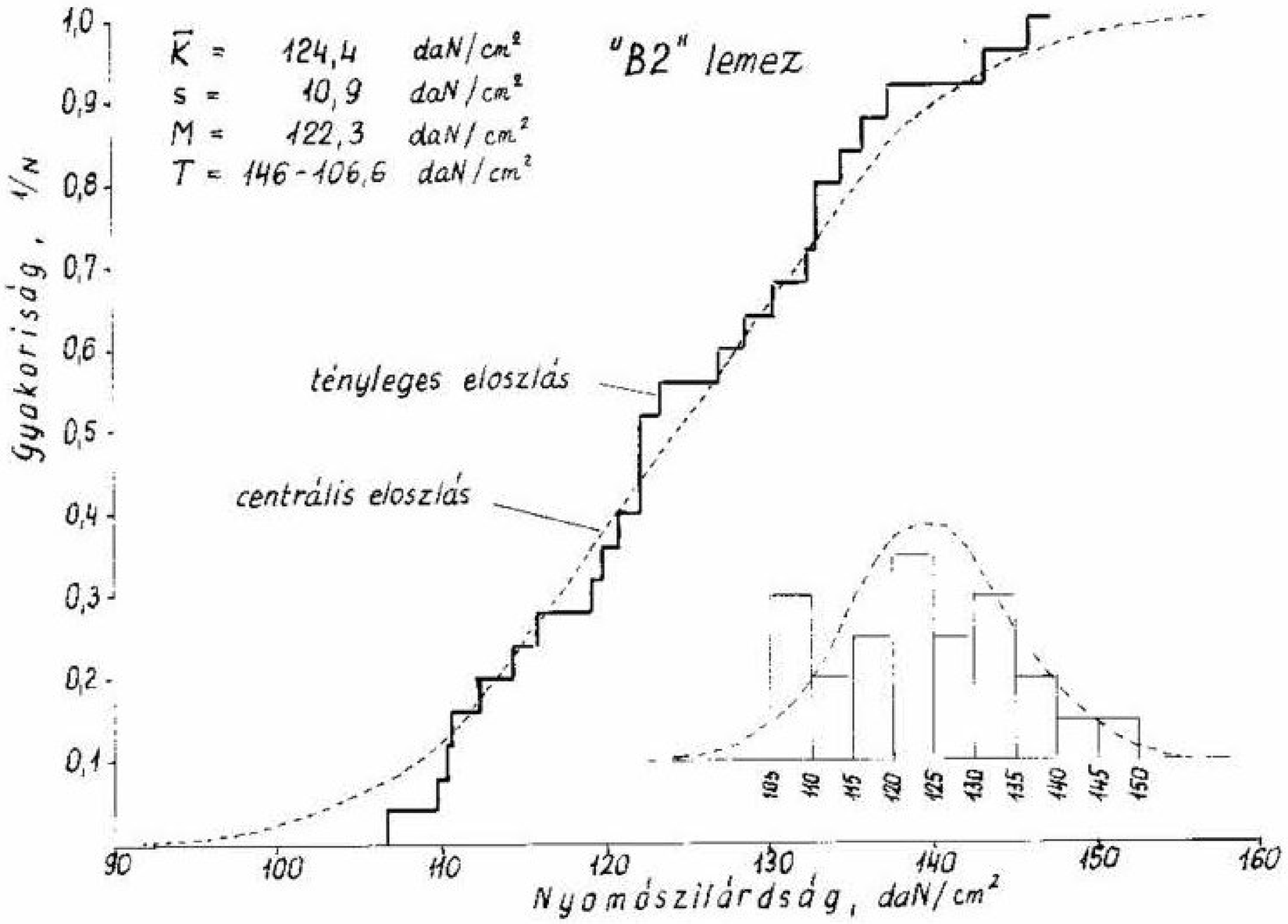
A „*B2*” jelű lemezből kivágott próbatestek adatai:

- törési testsűrűség 2379 kg/m^3
- a testsűrűség szórása 26,2 kg/m^3
- a testsűrűség variációs tényezője 1,1 %
- a testsűrűség terjedelme 2428,4 – 2313,7 = 114,7 kg/m^3

A vizsgálatok eredményeit a 32. ábrán is feldolgoztuk. Az ábra felső részén a kockapróbatestek, alsó részén az elemből kivágott testek vizsgálati adatai láthatók. A tényleges eloszlás – az ábra szerint – a sablonban gyártott kockapróbatestek esetén kissé jobbra ferdülő, míg a lemezből kivágott próbatestek esetében kissé balra ferdülő.



32.ábra: A "B2" jelü betonkeverék vizsgálatának eredményei



<u>A „*B1*" és a „*B2*" jelű betonkeverékekből, változatlan alapanyagok felhasználásával naponta 3×1 betonkockát készítettünk</u>; a „*B1*" jelű keverékeknek megfelelő próbatesteket „*BB*", míg a „*B2*" jelűeknek megfelelőket „*B*" jellel láttuk el. A „*BB*" jelű próbatestek összetételét és készítési test-sűrűségét a 18. táblázatban, míg a „*B* jelű próbatestekét a 19. táblázatban foglaltuk össze.

18. táblázat: A „BB" jelű próbatestek készítési testsűrűsége és összetétele

Sor-szám	Készítés napja	Tömeg, kg	Testsü-rüség, kg/m³	Cement-tart., kg/m³	Víztar-talom, l/m³	Adalék-anyagtar-talom, kg/m³
1	XI.15.	19,65	2456	381	148,6	1926,4
2	XI.15.	19,45	2431	377	147	1907
3	XI.15.	19,55	2444	379,2	147,8	1917
4	XI.16.	19,45	2431	377	147	1907
5	XI.16.	19,45	2431	377	147	1907
6	XI.16.	19,35	2419	375,3	146,3	1897,4
7	XI.20.	19,50	2438	378,3	147,5	1912,2
8	XI.20.	19,55	2444	379,2	147,8	1917
9	XI.20.	19,50	2438	378,3	147,5	1912,2
10	XI.21.	19,50	2438	378,3	147,5	1912,2
11	XI.21.	19,40	2425	376,2	146,7	1902,1
12	XI.21.	19,60	2450	380	148	1922
13	XI.22.	19,50	2438	378,3	147,5	1912,2
14	XI.22.	19,40	2425	376,2	146,7	1902,1
15	XI.22.	19,50	2438	378,3	147,5	1912,2
16	XI.23.	19,55	2444	379,2	147,8	1917
17	XI.23.	19,35	2419	375,3	146,3	1897,4
18	XI.23.	19,55	2444	379,2	147,8	1917
19	XI.24.	19,50	2438	378,3	147,5	1912,2
20	XI.24.	19,50	2438	378,3	147,5	1912,2
21	XI.24.	19,50	2438	378,3	147,5	1912,2
22	XI.27.	19,50	2438	378,3	147,5	1912,2
23	XI.27.	19,45	2431	377	147	1907
24	XI.27.	19,45	2431	377	147	1907
25	XI.28.	19,45	2431	377	147	1907
26	XI.28.	19,50	2438	378,3	147,5	1912,2
27	XI.28.	19,45	2431	377	147	1907
28	XI.29.	19,50	2438	378,3	147,5	1912,2
29	XI.29.	19,50	2438	378,3	147,5	1912,2
30	XI.29.	19,50	2438	378,3	147,5	1912,2

19. táblázat: A „B" jelű próbatestek készítési testsűrűsége és összetétele

Sor-.	Készítés napja	Tömeg, kg	Testsűrüség, kg/m3	Cement-tart., kg/m3	Víztar-talom, l/m3	Adalék-anyagtar-talom kg/m3
1	XI.15.	19,35	2419	150,2	145,4	2123,4
2	XI.15	19,40	2425	150,6	145,8	2128,6
3	XI.15	19,45	2431	151	146	2134
4	XI.16.	19,20	2400	149	144,3	2106,7
5	XI.16.	19,25	2406	149,4	144,6	2112
6	XI.16.	19,30	2413	149,8	145	2118,2
7	XI.20.	19,30	2413	149,8	145	2118,2
8	XI.20.	19,20	2400	149	144,3	2106,7
9	XI.20.	19,25	2406	149,4	144,6	2112
10	XI.21.	19,05	2381	147,9	143,1	2090
11.	XI.21.	19,25	2406	149,4	144,6	2112
12.	XI.21.	19,30	2413	149,8	145	2118,2
13.	XI.22.	19,05	2381	147,9	143,1	2090
14.	XI.22.	19,05	2381	147,9	143,1	2090
15.	XI.22.	19,25	2406	149,4	144,6	2112
16.	XI.23.	19,25	2406	149,4	144,6	2112
17.	XI.23.	19,20	2400	149	144,3	2106,7
18.	XI.23.	19,30	2413	149,8	145	2118,2
19.	XI.24.	19,25	2406	149,4	144,6	2112
20.	XI.24.	19,25	2406	149,4	144,6	2112
21.	XI.24.	19,25	2406	149,4	144,6	2112
22.	XI.27.	19,30	2413	149,8	145	2118,2
23.	XI.27.	19,30	2413	149,8	145	2118,2
24.	XI.27.	19,25	2406	149,4	144,6	2112
25.	XI.28.	19,20	2400	149	144,3	2106,7
26.	XI.28.	19,30	2413	149,8	145	2118,2
27.	XI.28.	19,30	2413	149,8	145	2118,2
28.	XI.29.	19,20	2400	149	144,3	2106,7
29.	XI.29.	19,30	2413	149,8	145	2118,2
30.	XI.29.	19,35	2419	150,2	145,4	2123,4

A 18. táblázat adatai alapján a betonösszetétel adatai (zárójelben a tervezett értékek):

- készítési testsűrűség 2436 (2405) kg/m^3
- cementtartalom 378 (370) kg/m^3
- víztartalom 147,4 (145) kg/m^3
- adalékanyag tartalom 1911 (1890) kg/m^3

A 19. táblázat adatai alapján a betonösszetétel adatai (zárójelben a tervezett értékek):

- készítési testsűrűség 2407 (2178) kg/m^3
- cementtartalom 150 (140) kg/m^3
- víztartalom 145 (138) kg/m^3
- adalékanyag tartalom 2113 (1900) kg/m^3

A próbakockák készítése és utókezelése megegyezett az *„A1”* jelű keverékével. A próbakockák vizsgálati eredményeit a 20. és 21. táblázatok tartalmazzák.

20. táblázat: A „BB” jelű betonkeverék próbakockáinak nyomószilárdsága és testsűrűsége

Sorszám	Testsűrüség, kg/m3	Nyomószil., N/mm2	Sorszám	Testsűrüség, kg/m3	Nyomószil., N/mm2	Sorszám	Testsűrüség, kg/m3	Nyomószil., N/mm2
17	2413	37,8	7	2431	39	9	2431	39,5
24	2406	40	10	2431	40,8	11	2425	40,8
13	2419	41	18	2425	41,8	15	2419	42,3
14	2419	42,5	20	2425	42,5	8	2431	43
26	2419	43	25	2419	43,8	12	2419	44
16	2438	44	27	2419	45,3	30	2425	46
28	2431	46,5	29	2419	46,8	3	2425	47,9
2	2419	48	1	2431	49,5	21	2419	49,5
22	2431	50	23	2413	50	19	2431	50,8
6	2403	52	5	2413	52	4	2425	53

21. táblázat: A „B” jelű betonkeverékek próbakockáinak nyomószilárdsága és testsűrűsége

Sorszám	Testsürüség, kg/m3	Nyomószil., N/mm2	Sorszám	Testsürüség, kg/m3	Nyomószil., N/mm2	Sorszám	Testsürüség, kg/m3	Nyomószil., N/mm2
16	2325	6,88	17	2338	6,88	18	2338	7,13
28	2319	7,53	29	2325	7,55	25	2356	7,88
26	2338	7,88	30	2344	8,1	13	2319	8,88
14	2313	9	15	2344	9,13	27	2325	9,25
10	2338	9,88	12	2344	9,88	11	2350	10,13
1	2344	10,25	7	2338	10,25	19	2338	10,38
2	2356	10,5	8	2331	10,5	22	2344	10,5
9	2344	10,63	20	2344	10,63	21	2344	10,63
24	2350	10,63	23	2344	11,38	3	2344	11,75
5	2344	12	6	23,56	12,88	4	*	

* A 4. sorszámú próbatest erőszakos behatást kapott és megrepedt.

A 20. táblázat adatai alapján a *„BB”* jelű betonkeverékből készített próbakockák adatai:

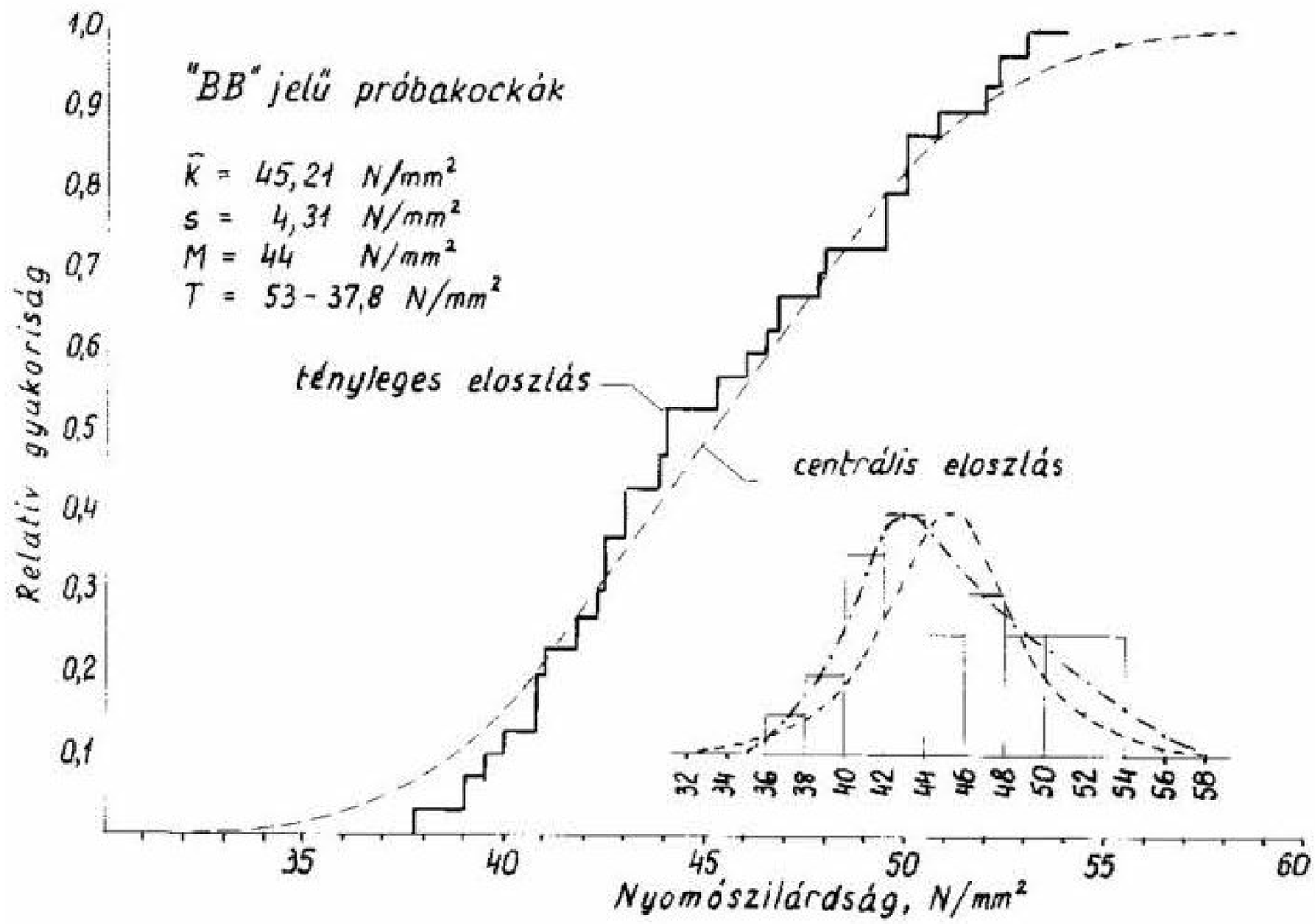
- átlagos nyomószilárdság 45,2 N/mm^2
- a nyomószilárdság szórása 4,3 N/mm^2
- a nyomószilárdság variációs tényezője 9,5 %
- a nyomószilárdság terjedelme 53 – 37,8 = 15,2 N/mm^2
- átlagos törési testsűrűség 2422,5 kg/m^3
- a testsűrűség szórása 8,1 kg/m^3
- a testsűrűség variációs tényezője 0,3 %
- a testsűrűség terjedelme 2438 – 2403 = 35 kg/m^3

A 21. táblázat adatai alapján a *„B”* jelű betonkeverékekből készített próbatestek jellemzői:

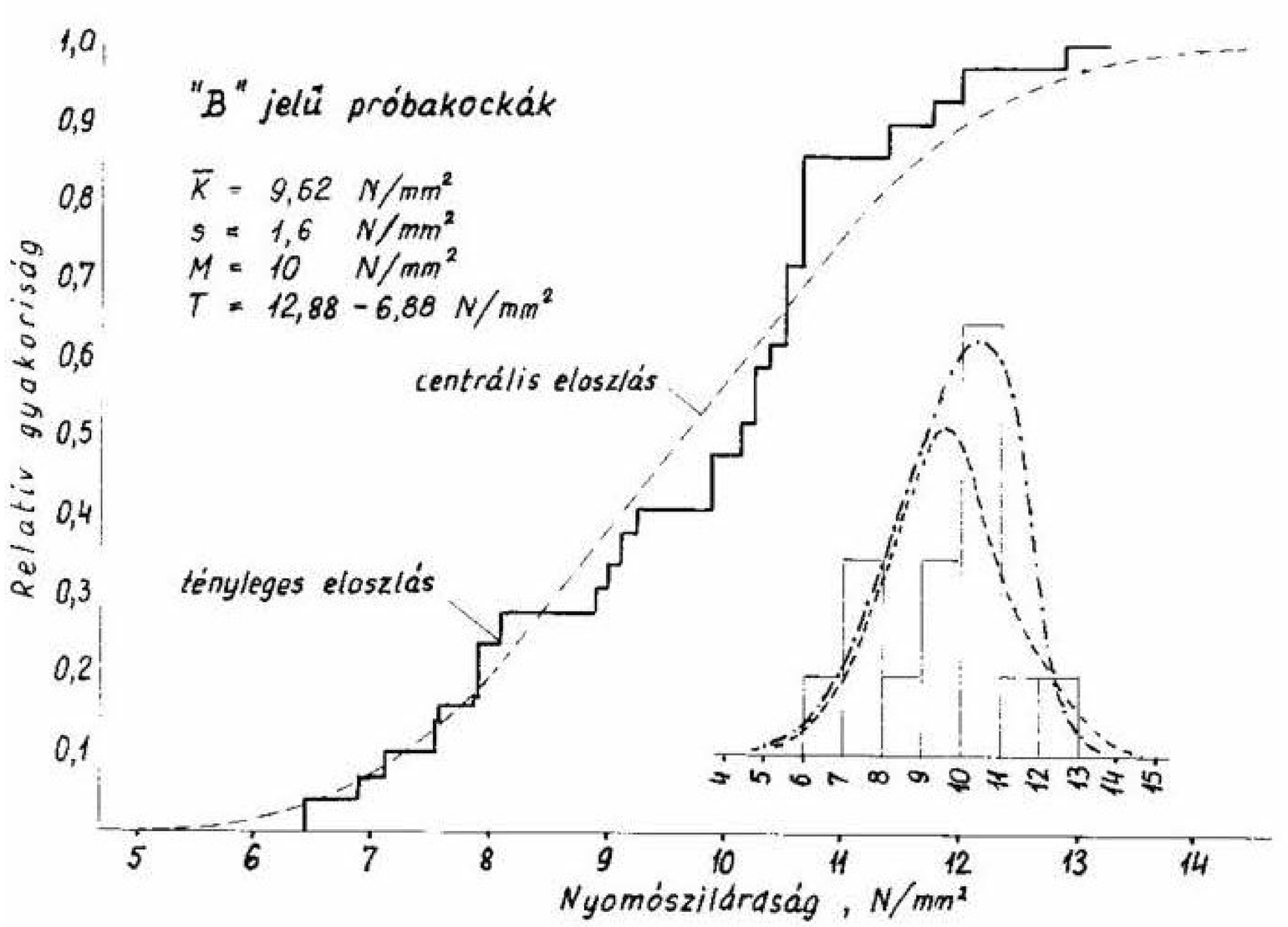
- átlagos nyomószilárdság 9,62 N/mm^2
- a nyomószilárdság szórása 1,6 N/mm^2

- a nyomószilárdság variációs tényezője 16,6 %
- a nyomószilárdság terjedelme 12,88 – 6,88 = 6 N/mm^2
- átlagos törési testsűrűség 2339 kg/m^3
- a testsűrűség szórása 11,2 kg/m^3
- a testsűrűség variációs tényezője 0,5 %
- a testsűrűség terjedelme 2356 – 2313 = 43 kg/m^3

A 20. és 21. táblázatok adatait grafikusan is feldolgoztuk a 33. ábrán. Az ábra felső részén a „*BB*" jelű, az alsó részén a „*B*" jelű betonkeverék vizsgálati eredményeiből szerkesztett tapasztalati eloszlás látható.



13.ábra: A "BB" és a "B" jelü betonkeverékek vizsgálatának eredményei



4.3. A vizsgálati eredmények értékelése

A valószínűség számítás célja, hogy meghatározza a véletlen események bekövetkezésének a valószínűségét. Egy esemény valószínűségén azt az objektív mérőszámot értjük, amely megmutatja, hogy egy kísérletet azonos körülmények között sokszor megismételve ezeknek körülbelül mekkora hányadában következik be a vizsgált esemény. Ebből következik, hogy

- egyrészt egyszeri, azonos körülmények között többször meg nem ismételhető események,
- másrészt változó körülmények között többször megismétlődő események

valószínűségének a meghatározása nem lehet a valószínűség számítás tárgya.

Ha azt kérdezzük: mennyi a valószínűsége annak, hogy 1,2 m^3 6,0 finomsági modulusú, D=16 mm-es homokos kavicsból, 300 kg/m^3 350 ppc 10-ből és 150 liter/m^3 vízből készített és vibrálással tömörített, 14 napig nedvesen tartott, +20 °C környezeti hőmérséklet mellett szilárduló beton 28 napos nyomószilárdsága legalább 28 N/mm^2 értéket ér el, akkor nem egy munkahelyről, hanem tetszőleges munkahelyről beszélünk. De nem beszélünk ugyanakkor más összetételű betonról és más feltételekről sem, tehát például sem 5,5 vagy 6,5 finomsági modulusú homokos kavicsról, sem ténylegesen 400-as minőségű cementről, sem +10 °C környezeti hőmérsékletről.

Amikor egy esemény valószínűségéről beszélünk, akkor az illető eseménynek az adott (megszabott) feltételek mellett tetszőlegesen sokszor végrehajtott kísérletek során várható bekövetkezésére gondolunk. A valószínűség számítás tehát véletlen tömegjelenségekkel foglalkozik.

A matematikai statisztika a valószínűség számítás elveit használja fel a statisztikai adatok feldolgozására és abból következtetések levonására. Ebből következik, hogy mindig vizsgálati adatok halmazából kell kiindulnia. A vizsgált adatok, ha valamely véletlen tömegjelenségre vonatkoznak, esetről-esetre véletlenszerűen változnak. A vizsgált adatok tehát maguk is valószínűségi változók, tehát egy valószínűségi változó vizsgált (megfigyelt) értékeinek foghatók fel.

A vizsgált értékek összessége a minta, az értékek vizsgálata a mintavétel. Valamely valószínűségi változóval kapcsolatban észlelt statisztikai adatok összességét szokás még a valószínűségi változóból vett mintának is nevezni. Ilyen mintát kapunk például akkor, ha egy betonüzemben készített, azonos összetételűre tervezett betonkeverékekből találomra választunk ki néhányat a minőség ellenőrzése céljából, ezekből előírt módon próbakockákat készítünk és megmérjük mindegyiknek a szilárdságát. A szilárdság számértékei alkotják a mintát.

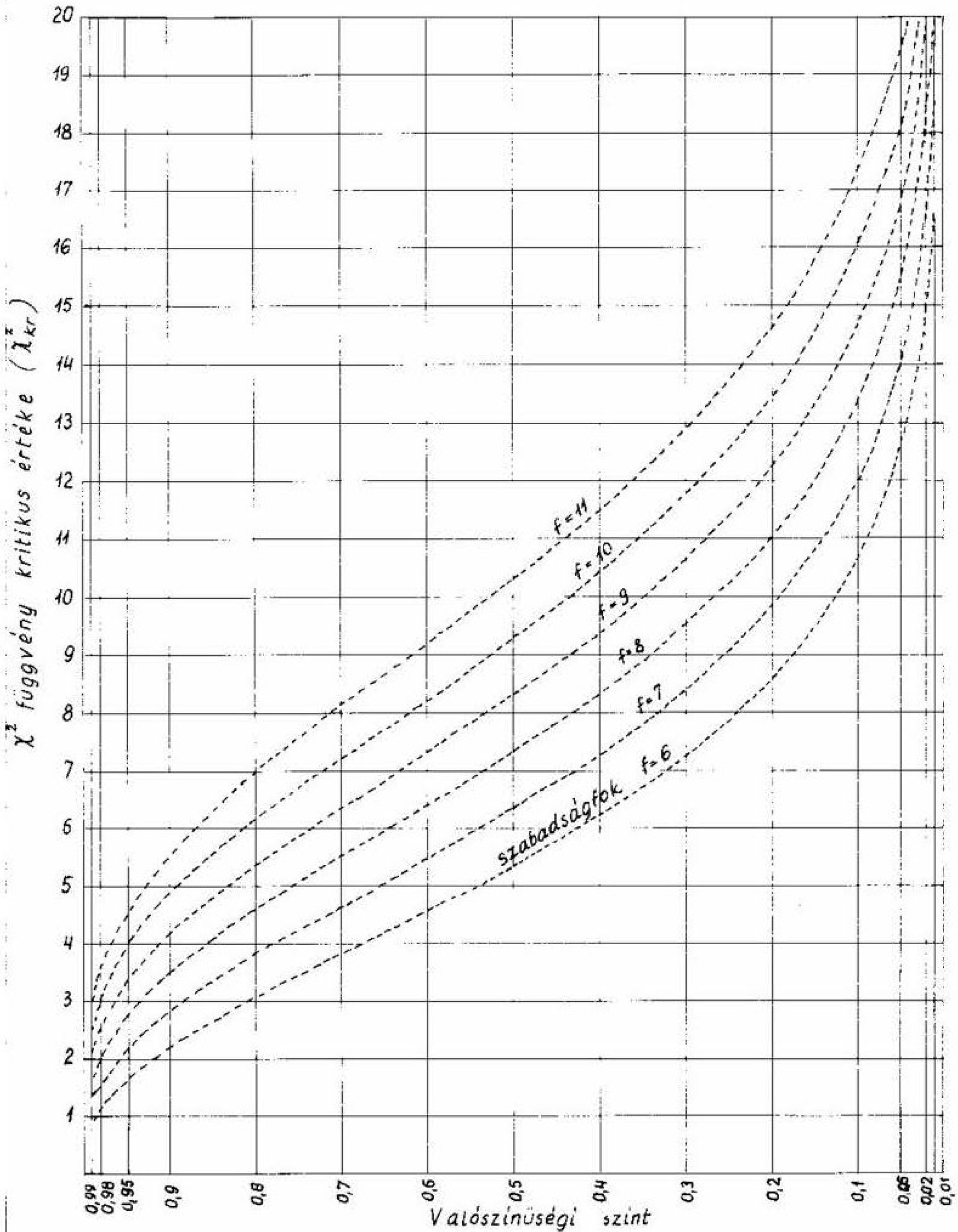
A mintavételnél gondosan ügyelni kell arra, hogy semmi olyan körülmény ne befolyásolja, amely azt eltorzíthatná. A minta akkor válik torzzá, ha a valószínűségi változó ingadozása nem véletlen. Ha a minta nincs eltorzítva, akkor azt reprezentatívnak nevezzük. Úgy tűnik, hogy a mindennapi mérnöki szóhasználat hajlamos *reprezentatívnak* nevezni a nagyszámú elemet tartalmazó mintát. Pedig éppen az 1. fejezetben kimutatott okok miatt nagy elemszámú beton-minta esetében igen nagy a valószínűsége annak, hogy a minta ingadozása nem véletlenszerű. Az $\underline{n}$ elemű független és reprezentatív minta matematikailag annyit jelent, hogy $\underline{n}$ számú független és egyforma eloszlású valószínűségi változót vizsgálunk.

Ezeknek az elveknek a figyelembe vételével kijelenthető, hogy a 3.2. fejezetben részletezett kísérletek eredményei reprezentatív mintának tekinthetők és értékelésük a matematikai statisztika módszereivel elvégezhető.

Kísérleteink célja az volt, hogy megvizsgáljuk: különböző összetételű és nyomószilárdságú betonok laboratóriumi feltételek közötti készítése esetén a szilárdság normális eloszlású lesz-e. Ezt a vizsgálatot a χ^2 próbával végeztük el. A vizsgálathoz felhasználtuk a χ^2 függvény kritikus értékeit; ennek adatai – különböző szabadságfokokra – a 34. ábrán láthatók.

A 3.2. fejezet szerinti vizsgálatok során nyert adatok alapján a tényleges χ^2 értékeket az alábbi összefüggésből számítottuk:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{r} \frac{(v_i - n \times p_i)^2}{n \times p_i}$$



34. ábra: Az illeszkedés vizsgálatához használt χ^2 próba kritikus értékei

A χ^2 próba segítségével megállapítható, hogy mi a valószínűsége annak, hogy a vizsgált minta adatainak az eloszlása a normális eloszlásra illeszkedik (illetve, hogy milyen szignifikancia szinten illeszkedik). Ez a próba az alábbi eredményeket adta:

- az *„A1"* jelű betonkockák esetében *f = 9* szabadságfok mellett $\chi^2 = 6{,}037$. A 34. ábra szerint 73 % a valószínűsége annak, hogy az *„A1"* jelű betonkeverék nyomószilárdságának eloszlása normális;
- az *„A1"* jelű kivágott próbatestek esetében *f = 7* szabadságfok mellett $\chi^2 = 2{,}776$. A 34. ábra szerint 90 % a valószínűsége annak, hogy az *„A1"* jelű betonból készített lemez betonjának szilárdságeloszlása normális;
- az *„A2"* jelű betonkockák esetében *f = 6* szabadságfok mellett $\chi^2 = 6{,}972$. A 34. ábra szerint 33 % a valószínűsége annak, hogy az *„A2"* jelű betonkeverék nyomószilárdságának eloszlása normális;
- az *„A2"* jelű kivágott próbatestek esetében *f = 8* szabadságfok mellett $\chi^2 = 11{,}134$. A 34. ábra szerint 19 % a valószínűsége annak, hogy az *„A2"* jelű betonból készített lemez betonjának szilárdságeloszlása normális;
- a *„B1"* jelű betonkockák esetében *f = 10* szabadságfok mellett $\chi^2 = 10{,}68$. A 34. ábra szerint 38 % a valószínűsége annak, hogy a *„B1"* jelű betonkeverék nyomószilárdságának eloszlása normális;
- az *„B1"* jelű kivágott próbatestek esetében *f = 10* szabadságfok mellett $\chi^2 = 11{,}455$. A 34. ábra szerint 32 % a valószínűsége annak, hogy az *„B1"* jelű betonból készített lemez betonjának szilárdságeloszlása normális;
- a *„B2"* jelű betonkockák esetében *f = 6* szabadságfok mellett $\chi^2 = 7{,}648$. A 34. ábra szerint 27 % a valószínűsége annak, hogy a *„B2"* jelű betonkeverék nyomószilárdságának eloszlása normális;
- az *„B2"* jelű kivágott próbatestek esetében *f = 8* szabadságfok mellett $\chi^2 = 5{,}623$. A 34. ábra szerint 69 % a valószínűsége annak, hogy az *„B2"* jelű betonból készített lemez betonjának szilárdságeloszlása normális;
- a *„BB"* jelű betonkockák esetében *f = 8* szabadságfok mellett $\chi^2 = 6{,}185$. A 34. ábra szerint 63 % a valószínűsége annak, hogy a *„BB"* jelű betonkeverék nyomószilárdságának eloszlása normális;
- a *„B"* jelű betonkockák esetében *f = 6* szabadságfok mellett $\chi^2 = 14{,}413$. A 34. ábra szerint 3 % a valószínűsége annak, hogy a *„B"* jelű betonkeverék nyomószilárdságának eloszlása normális.

Az illeszkedés vizsgálat eredményei szerint a nyomószilárdságok tényleges eloszlásának a normális eloszlástól való eltérése az alábbi szignifikancia-szinten mondható ki:

„A1" kocka:	27 %	„A1" kivágott próbatestek:	10 %
„A2" kocka:	67 %	„A2" kivágott próbatestek:	81 %
„B1" kocka:	62 %	„B1" kivágott próbatestek:	68 %
„B2" kocka:	73 %	„B2" kivágott próbatestek:	31 %
„BB" kocka:	37 %		
„B" kocka:	97 %		

azaz egyetlen vizsgálatsorozat sem adott olyan eloszlást, amely a normális eloszláshoz közelíthető. A kockapróbatestek és a nagyobb méretű lemezekből kivágott próbatestek szilárdságának vizsgálati eredményeit összesítve a 22. táblázatban adjuk meg.

22. táblázat: A nyomószilárdság vizsgálatának eredményei

A beton jele	A próbakocka				A kivágott test		
	kora nap	nyomószil., N/mm²	szilárdsági szórása, N/mm2	tömörítési ideje s	kora nap	nyomószil., N/mm2	szilárdsági szórása, N/mm2
A1	46	31,8	1,96	45	49	29,6	1,95
A2	46	5,37	0,28	10	46	3,25	0,48
B1	79	48,9	2,24	45	79	37,1	4,75
B2	46	13,8	1,49	10	46	12,4	1,09
BB	28	45,2	4,31	15			
B	28	9,62	1,6	15			

A 22. táblázat azonos betonkeverékekre vonatkozó szilárdsági adatainak eltérései (próbakockák és kivágott testek) részben az eltérő víztartalom (*„A2"* jelű keverék), részben az eltérő tömörítés

(*„B1"* keverék) következménye. E két esetben a lemezek betonjának a szilárdsági szórása is nagyobb, mint a próbakockáké.

Az elvégzett roncsolásmentes vizsgálatok eredményei szerint a Schmidt-kalapács alkalmazásával a beton szilárdsági szórására jól értékelhető eredményeket lehetett nyerni, ha a szilárdságra való átszámításhoz a kalapács gyári grafikonját használtuk.

5. A BETON MATEMATIKAI-STATISZTIKAI MINŐSÍTÉSE

A vizsgálat módja szerint mind a gyártásközi, mind a végtermék ellenőrzés statisztikai módszerei két csoportra oszlanak: a méréses és a minősítéses módszerekre. Az első valamely mérhető tulajdonság mért értéke alapján következtet a gyártás folyamatára, ill. a termék megfelelő voltára, míg a második csak arról dönt, hogy a termék jó-e vagy selejtes.

A betonminőség matematikai-statisztikai értékelésének leglényegesebb elemei: a sokaság (a tétel, az együtt minősíthető betonmennyiség) és a beton küszöbszilárdsága. Mindkét elem két szempontból vizsgálható: a betonkeverék és a betonszerkezet szempontjából.

Először vizsgáljuk meg a tételt.

A betonkeverék szempontjából a tételt a beton minősége vagy mennyisége, ill. a gyártás időtartama alapján vizsgálhatjuk.

A beton minősége szerint azonos tételnek tekintjük az azonos alapanyagokból (adalékanyag fajtája, lelőhelye, szemmegoszlása, szilárdsága; a cement fajtája, gyártási helye és kötőereje; a betonjavító adalékszer fajtája, gyártási helye), azonos üzemben, azonos keverési aránnyal, azonos feltételek mellett készített és azonos módon bedolgozott (pl. azonos környezeti hőmérséklet, azonos tömörítés), azonos jelű betont. Azonosnak tekintjük pl. az alapanyagokat akkor, ha azok azonos szállítmányból valók. Ha a felsorolt paraméterek közül bármelyik megváltozik (pl. új adalékanyag-, vagy cementszállítmányt használnak fel), akkor a keveréket mát új tételbe tartozónak kell tekinteni.

A beton mennyiségét illetően azonos tételnek kell tekinteni az azonos névleges szilárdságú, azonos üzemben készített, adott mennyiségű (pl. 100 m^3) betont, függetlenül attól, hogy az adott mennyiség gyártása folyamán az alapanyagokban volt-e változás, vagy nem. Nem vesszük tehát figyelembe, hogy időközbe új adalékanyag-, vagy cementszállítmány érkezett, megváltoztak a környezeti körülmények (pl. időjárás változás):

A gyártási időszak alapján azonos tételnek tekinthetjük az egy nap, egy hét stb. időtartam alatt készített, azonos névleges szilárdsági osztályú betonkeverékeket, függetlenül a készített betonmennyiségektől és az alapanyagok azonosságától. Több műszakban dolgozó betonkészítő üzem esetében a tételeket műszakonként is szét lehet választani.

A felsorolt három betonkeverék-tétel típus mindegyikének indokolható az alkalmazása, de mindegyik más célt szolgál.

A beton minősége szerinti tétel alapján végzett minőségellenőrzés a mérlegelés, az adagolás és a keverés egyenletességét, színvonalát mutatja ki, azaz a keverési arány betartásának a pontosságát. Az ilyen módon végzett rendszeres ellenőrzés és tétel-szétválasztás eredményeként tehát az üzem belső adottságaitól (mérlegek, gépi berendezések, szakértelem, munkafegyelem stb.) függő minőségingadozás mutatható ki. Ezen túlmenően adatokat ad az üzem vezetése részére arról is, hogy a felhasznált alapanyagok különböző szállítmányai hogyan befolyásolják a betonkeverék szilárdságát és egyenletességét.

A beton minősége szerinti tétel vizsgálati adatai reprezentatív mintának minősülnek, így az adatok értékelése során a beton küszöbszilárdságának a kiszámítására a matematikai statisztikai módszerek bármelyike felhasználható. Ennek megfelelően számítható az átlagos nyomószilárdság, a szilárdsági szórás, meghatározható a szilárdság sűrűségfüggvénye (eloszlása), a különböző valószínűségi szintekhez tartozó küszöbszilárdság, elvégezhető az illeszkedés vizsgálata stb.

Ez a tétel-kiválasztás elsősorban központi betongyárak, betonelemgyárak központi keverőtelepei, nagy mennyiségű, azonos minőségű betonkeverékeket előállító munkahelyi betonkeverő üzemek termelésének az ellenőrzését szolgálja.

A beton mennyisége alapján megválasztott tétel minőségellenőrzése révén egy adott szerkezetbe bedolgozott betonkeverék átlagos szilárdságáról és minőségének egyenletességéről lehet általános felvilágosítást nyerni. Ezt a tételt nem lehet minden eseten reprezentatív mintának tekinteni, mert megtörténhet, hogy az adott vasbeton szerkezet készítése során, a gyártás folyamán, megváltozik az alapanyagok minősége (új szállítmány cement, vagy adalékanyag érkezett), a beton keverési aránya (pl. az időjárás megváltozása miatt kötésszabályozó adalékszert kell a beton egy részéhez adagolni), vagy a készítés valamely más feltétele (pl. a beton belső szállításának a módja). Még az is megtörténhet, hogy egy adott betonszerkezet betonjának készítésére felállított munkahelyi keverőtelep üzemzavara miatt a szerkezet egy részét máshonnan származó betonkeverékekkel betonozzák.

Ebből következően megtörténhet, hogy a vizsgált valószínűségi változó elemei (az egyedi nyomószilárdsági értékek) nem egyforma eloszlásúak. Ez esetben azonban a tétel már nem alkalmas arra, hogy a minta eloszlását, szórását, küszöbértékét értékelni lehessen. Erre csak akkor volna lehetőség, ha a tételt alkotó, egyforma eloszlású valószínűségi változókat tartalmazó rész-tételeket szét lehetne választani és ezeket külön-külön lehetne értékelni. Erre azonban a gyakorlatban ritkán van lehetőség.

Éppen ezért a beton mennyisége alapján megválasztott minta csak azt a célt szolgálhatja, hogy a selejtes egyedek mennyiségét lehessen megállapítani. Ez pedig az ún. *minősítéses módszer*. Ki kell tehát jelölni azt a nyomószilárdsági értéket, amely alatt a betonminta selejtesnek minősítendő és meg kell határozni a megengedett selejtszázalékot.

A betonmennyiség szerint kiválasztott tételt adott vasbetonszerkezet azonos szilárdsági jelű betonjának minősítésére lehet felhasználni.

A gyártási időszaktól függően megválasztott tétel azt jelenti, hogy egy folyamatosan működő betonkeverő üzemben adott időtartamon át (egy hét, egy hónap, fél év, egy év) gyártott valamennyi azonos szilárdsági osztályú betonmintát együtt értékelünk. A gyártási időszaktól függően megválasztott tétel esetében mind az alapanyagok minősége, mind a készítés feltételei változhatnak, tehát ugyanúgy, mint a beton mennyiségétől függően megválasztott tétel esetében, a gyártási időszaktól függően megválasztott tétel vizsgálati eredményei sem tekinthetők reprezentatív mintának. Ennek megfelelően ugyancsak nem alkalmas az eloszlás, vagy a szórás meghatározására, hanem csupán a selejtszázalék megállapítására.

A gyártási időszaktól függően megválasztott tételsegítségével főleg az előregyártó üzemek termelése ellenőrizhető. Főleg többműszakos üzemben alkalmazható, mert segítségével az egyes műszakok színvonala, technológiai fegyelme ellenőrizhető.

A betonkeverékeket beton vagy vasbeton szerkezetek készítésére használjuk. A betonszerkezet szempontjából egy tételnek az azonos funkciójú, azonos statikai egységbe tartozó elem, egység stb. tekintendő. Így egy tételbe tartozhat pl. egy többszintes épület egy szintjének oszlopsora, egyetlen nagy fesztávolságú áthidaló szerkezet (pl. hídgerenda), egy keretállás stb. A szerkezeti tétel szempontjából teljesen közömbös azonban, hogy az egy vagy több tételbe tartozó betonkeverékekből készült-e; egyetlen lényeges jellemzője a statikai egysége.

A fentiekből következően, ha a szerkezet teherbíró képességét a betonkeverék vizsgálata alapján kívánjuk meghatározni, akkor a betonkeverékek egy tételbe tartozásának alapfeltétele az kellene legyen, hogy a keverékek ugyanabba a szerkezeti (statikai) egységbe kerüljenek. A munkahelyi betonkészítés során ezt a beton mennyisége alapján meghatározott tétellel általában biztosítani lehet.

Kérdéses, hogy az előregyártó üzemben megvalósítható-e a betonkeverék tételkiválasztásának ez a feltétele. A panelos lakóépületbe egy szerkezeti egységként (szerkezet-tételként) kezelhetők pl. egy szint függőleges teherhordó elemei. Ha a függőleges teherhordó panelok gyártása során, a kizsaluzás időpontjában, meghatározható, hogy az elemek melyik épület melyik szintjére

kerülnek beépítésre, akkor az elemekhez felhasznált betonkeverékekből készített betonkockák ilyen csoportosítás alapján elvégzett vizsgálata és az eredmények kiértékelése lehetőséget ad az adott szerkezeti egység matematikai-statisztikai minősítésére is, feltéve, hogy a betonkeverékek azonos alapanyagokból és azonos feltételek között készültek.

A próbakocka-vizsgálatok ilyen rendszer szerinti csoportosítása azonban – legalábbis egyelőre – nem lehetséges, mert a folyamatos panelgyártás során termelt elemeket nem az épületek, hanem a gyártási folyamat sorrendjében tárolják és szállítják. A kockavizsgálatok eredményeinek épületek és szintek szerinti csoportosítására lehet megfelelő rendszert kidolgozni, de ennek bevezetése nyilván hosszú időt venne igénybe. Emiatt egyelőre nem lehet a házgyárak betonjainak a minősítésekor elvégezni a szerkezetek matematikai-statisztikai minősítését is.

A betonelemgyártó üzemekre ugyanaz érvényes, mint a házgyárakra.

A központi betongyárakban készített betonkeverékekből vett mintákat egyelőre ugyancsak nem lehet a beépítés alapján – a szerkezeti egység, tétel szerint – csoportosítva vizsgálni és értékelni. Ha a próbakockákat a betonozás helyén, a beton zsaluzatba öntése előtt kivett keverékekből készítik el, gondosan ügyelve arra, hogy a próbakocka betonjának és a szerkezet betonjának a tömörsége azonos legyen, akkor a próbakocka azonosítható lesz a szerkezettel. De ez csak az egyik feltétele a reprezentatív mintának. Másik feltétele (a valószínűségi változó egyforma eloszlása) csak akkor lenne biztosítható, ha a központi betongyár a szállítólevélen nemcsak a beton névleges szilárdságát, hanem a betonkeverékhez használt cement tényleges szilárdságát, az adalékanyag pontos (mért) finomsági modulusát stb. is megadná. Kérdés, hogy az alapanyag szállítók minőségi bizonylatai elegendőek-e.

A minősítés rendeletekben megfogalmazott alapfeltétele az, hogy a végterméket kell minősíteni. A cementgyártás szempontjából a cement a végtermék. A cementgyárnak csak azt kell tanúsítania, hogy a szabványban előírt vizsgálat elvégzése után a cementhabarcs a márkajelben feltüntetett minimális szilárdságot eléri. Nem kell azonban tanúsítania, hogy mekkora a cement tényleges szilárdsága és természetesen azt sem, hogy a szállított cementtel milyen szilárdságú betont lehet készíteni. Ezt a vizsgálatot a betongyárnak kellene elvégeznie. Nyilvánvaló azonban, hogy a cement tényleges szilárdságának és bizonylatolásának a végrehajtása a betongyár számára lehetetlen követelmény, hiszen a keverékhez adott cement tényleges szilárdsága csak egy hónap után állhat rendelkezésre. Ennek következtében a vevő, a gyári keverék felhasználója, nem állapíthatja meg, hogy a bedolgozott betonkeverékek közül melyek tekinthetők egy tételnek, egyforma eloszlásúnak.

Az adalékanyag-előállítás szempontjából az adalékanyag a végtermék. Az adalékanyag előállítójának csak az adalékanyag tulajdonságait kell (vagy kellene) szavatolnia: a szemmegoszlás átlagos értékét, a legnagyobb szemnagyságot, a tisztaságot és a szemalakot. Egyetlen adalékanyag előállító üzemtől sem lehet megkövetelni, hogy egyrészt szavatolja az adalékanyag minőségének a szórását és különösen nem az adalékanyagból készített beton minőségét.

Fentiekből következik, hogy az alapanyagok szállítói által adott minőségi bizonylatokat a betongyárak nem használhatják fel termékeik (a betonkeverékek) összetételének pontos tanúsítására, legalábbis nem olyan igénnyel, hogy abból a matematikai-statisztikai értékelhetőségre megbízható adatokat lehessen kapni.

A betonkeveréket régebben nem tekintettük végterméknek, mert általában az dolgozta be a betonkeveréket, aki azt elkészítette. Amióta azonban a központi betongyártás megkezdődött és a betonkeverék árúvá vált, a betonkeverék végtermék lett. Ennek következtében a betonkeverék előállítójának azt kell tanúsítania, hogy a szabványban előírt vizsgálatok elvégzése után (valamennyi munkahelyen azonos feltételek mellett) a betonkeverék szilárdsági jelében feltüntetett szilárdságot (minimális szilárdságot) a betonkeverék eléri-e. Nem lehet tehát megkövetelni a betongyártól, hogy a betonkeverékből készített szerkezet teherbírását igazolja.

A betonkeverék a szállítóeszközben a szállítás végén, az átadáskor az alkotóanyagok mennyiségétől és minőségétől függően tartalmazza azokat a latens tulajdonságokat, amelyek a betonkészítés befejezte után (a tömörítés és az utókezelés módjától függően) válnak valósággá. A betonkeve-

rék tehát csak lehetőség, a beépített beton minősége azt mutatja meg, hogy ezekből a lehetőségekből mi realizálódott.

A latens tulajdonságokat aktivizálni, a lehetőségeket valóra váltani elsősorban a megfelelő tömörítéssel lehet. Ha a próbatestek tömörsége (tömörítettsége) nem azonos a beépített betonéval, akkor a szilárdsága sem lesz azonos.

A gyakorlatból közismert, hogy pl. C550 márkajelű portlandcementből – a víz/cement tényezőtől, a telítettségtől, a tömörségtől és egyéb tényezőktől függően – bármilyen szilárdságú betonkeverék készíthető bizonyos nyomószilárdsági határok (pl. 10-80 N/mm^2) között. Ezért sem lehet megkövetelni, hogy a cementgyár, az adalékanyag szállítója, vagy a betongyár a betonkeverék minőségét szavatolja. Kevéssé közismert, hogy a szabványos próbakocka vizsgálatával igazoltan *B280-20/3*jelű ($\overline{K}$ = *28 N/mm^2* átlagos nyomószilárdságú, K_m = *20 N/mm^2* minősítő szilárdságú) betonkeverékből a kész szerkezetbe bedolgozva *5-40 N/mm^2* átlagos nyomószilárdságú, *3,5-28 N/mm^2* minősítő szilárdságú beton lehet. Ha a betonkeveréket nem tömörödik megfelelően (pl. a keverés és a bedolgozás közt eltelt hosszú idő alatti, vagy a nagy meleg miatti kiszáradás következtében), akkor az átlagos nyomószilárdság 5 N/mm^2-re csökkenhet, ha viszont erőteljesen tömörítik, akkor 40 N/mm^2-re is nőhet. Ha a betonkeverék szórása a próbakockák vizsgálata alapján pl. 3 N/mm^2 volt, akkor egyenlőtlen bedolgozás esetén a betonszilárdság szórása a szerkezetben 8 N/mm^2-re is nőhet. Az átlagos nyomószilárdság ilyen eltérésére mutat példát a 28. ábra.

Mindebből az következik, hogy a beépített szerkezet betonjának a minősítése próbakockák vizsgálata alapján csak ritkán megoldható, legalábbis a küszöbszilárdságnak a szilárdság eloszlásából és a szórásból való számítása útján. Erre azonban a következők szerint nincs is szükség.

5.1. A betonkeverék minőségének matematikai-statisztikai vizsgálata

A betonkeverék matematikai statisztikai vizsgálata azt jelenti, hogy meg kell határozni azt a szilárdsági értéket, amelynél kisebb csak meghatározott valószínűséggel fordul elő, ha a vizsgálathoz felhasznált betonkeveréket szabványosan dolgozták be. A magyar szabvány a 95,45 %-os valószínűséget tekinti mérvadónak, azaz azt a két szilárdsági határértéket, amelynél kisebb és nagyobb egyaránt 2,28–2,28 % valószínűséggel fordul elő. A teherbírás szempontjából természetesen csak az alsó küszöbérték teljesülésének ellenőrzését kívánja meg. Az alsó küszöbértéknek a szilárdság tényleges eloszlásából és szórásából való számításához legalább 100 db próbatestből álló reprezentatív (torzítatlan) mintára van szükség.

Ha a tételt ennek a mintának a vételére a betonminőség alapján választják ki, akkor a tételnek (az előzőek szerint) az azonos szállítmányból származó alapanyagokból készített betonkeverékek tekinthetők. Folyamatos betonkészítés esetén a gyakorlatban átlagosan egyszerre kb. 200 m^3 adalékanyagot szállítanak, amelyből átlagosan a60-170 m^3 beton készíthető. A tétel maximális mennyisége tehát átlagosan 165 m^3 beton lehet. Ha a megbízható értékeléshez megkívánt 100 elemből álló mintát képeznénk, ez azt jelentené, hogy 1,65 m^3-enként kellene legalább 1 próbatestet készíteni. Ebből meg lehetne határozni a tapasztalati sűrűségfüggvény, a szórás és a küszöbszilárdság megbízható értékeit. Ilyen gyakoriságú mintavétel azonban a minőségvizsgálat céljára nem engedhető meg folyamatosan, már csak a költségeit tekintve sem.

Ennél lényegesen kisebb elemű minta setében – üzemi viszonyok között – a tapasztalati sűrűségfüggvény meghatározásának a pontossága kérdéses. Ha azonban az eloszlás nem ismert, akkor a szórás számítása érdektelen, minthogy az eloszlás ismerete nélkül nem lehet megbízható küszöbértéket számolni. Erre csak akkor volna lehetőség, ha a beton szilárdságának a sűrűségfüggvényét valamely ismert eloszlásúnak (pl. Gauss-eloszlás) vehetnénk fel. A 2. és 3. fejezetben közöltek szerint azonban erre nincs elegendő alapunk.

A végtermék statisztikai vizsgálatának egyéként is az a célja, hogy eldöntse, vajon az azonos gyártmányok nagyobb mennyisége, a tétel, átvehető-e. A klasszikusnak tekinthető mintavételes végtermék-minősítés során *N* számú gyártmányból álló tételből véletlenszerűem kiveszünk *n* darabot, és ha az *n* darab gyártmány között talált selejtes darabok száma nem nagyobb egy *c* számnál, akkor a

tételt el kell fogadni, ha viszont több selejtest találunk, akkor vissza kell utasítani. A *c* számot úgy kell megválasztani, hogy teljesüljön a

$$\sum_{k=c+1}^{n} \binom{n}{k} p^k \times (1-p)^{n-k} = \varepsilon$$

egyenlőség, ahol *(1-p)* a megfelelő minőségű gyártmány valószínűsége, *k* az *N* számú gyártmányból álló tételben lévő selejtes darabok száma (megengedett selejt), *ε* az a valószínűségi szint, amelyet a selejtes termékre megengedünk.

A beton minősítése során selejtesnek kell tekinteni azt a terméket, amelynek szilárdsága a minősítő szilárdágnál (a 2,28 % valószínűségi szinthez tartozó K_m küszöbértéknél) kisebb. A *p* valószínűség értéke tehát *0,0228*.

A különböző valószínűségi szintekhez tartozó, különböző mintaelemszámok esetén megengedhető *c* szám meghatározására táblázatok, ill. grafikonok állnak rendelkezésre.

Indokolt tehát, hogy a betonkeverékek mintavételes végtermék minősítése során ne a szórás és a küszöbszilárdság, ill. az eloszlás vizsgálatára törekedjünk, hanem a selejtes minták számának a meghatározására. A betonkeverék akkor tekinthető selejtnek, ha szilárdsága az előírt minősítő szilárdságnál kisebb. Az átvevő részére akkor kockázatmentes a minősítés, ha a megengedett selejtarány a zérushoz áll közel. Gyakorlatilag ennek *ε = 0,0027* érték felel meg. Ennek az értéknek az alkalmazását a betonszerkezetek népgazdasági értéke és az életbiztonság indokolja.

Az elmondottak alapján javasolható, hogy a betonkeverékek minősítésére a betongyártás volumenétől függő betonmennyiségből vett legalább öt minta szolgáljon. Egy-egy minta akár 1 db., akár 3 db. próbatestből állhat, de a 3 db. próbatestnek csak az átlagos nyomószilárdságát kell figyelembe venni. A próbatestek készítésére erre a célra kialakított és szabványosított tömörítő eszközt kell felhasználni (pl. ÉPGÉP asztalvibrátort). Az öt minta 28 napos korú nyomószilárdságának vizsgálati eredményéből kell meghatározni a legkisebb szilárdsági értéket (az átlagos nyomószilárdság is számítható, de csak tájékoztatás és nem minősítés céljára). A betonkeverék a szabvány előírásait akkor elégíti ki, h a minimális szilárdság értéke nagyobb vagy egyenlő a 23. táblázatban megadott értéknél.

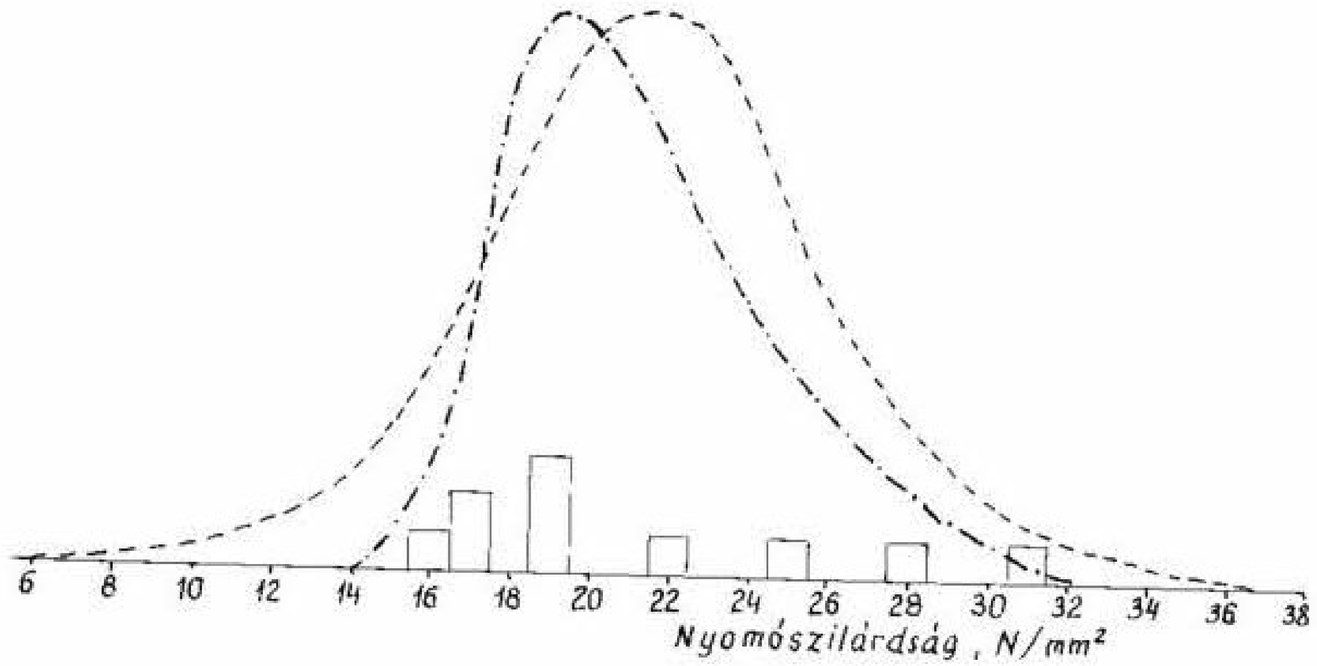
23. táblázat: Az MSZ 15022 szerinti betonok mintáinak megengedett legkisebb nyomószilárdsága

A beton jele	*B35*	*B50*	*B70*	*B100*	*B140*	*B200*	*B280*	*B400*	*B560*
Minimális szilárdság, N/mm²	3	4	6	8,5	12	17	24	34	48

A szabványos minősítő vizsgálat mintavételi eljárásában célszerű a szekvenciális módszert alkalmazni. Ha a sorozatos, egymás utáni mintavétel eredményeképpen nyert szilárdsági adatok bármelyike kisebb, mint a 23. táblázat szerinti minimális szilárdság, akkor a mintavételek számát növelni kell öttel. Ha a következő öt minta mindegyike kielégíti a 23. táblázat előírását, akkor a tétel elfogadható, ha azonban az összesen tíz mintából egynél több kisebb, mint a 23. táblázatban megadott érték, akkor a beton csak abba a névleges szilárdsági osztályba sorozható, amelynek a tényleges minimális szilárdság alapján megfelel.

Ez a minősítés felhasználható mindhárom betonkeverék-tétel minősítésére (betonminőség szerinti, betonmennyiség szerinti és gyártási időszak szerinti tételek). Felhasználható tehát arra is, hogy pl. betongyárból szállított és adott szerkezeti egységbe bedolgozott betonkeverékekből vett és a szerkezet mellett tárolt kockapróbatestek vizsgálata alapján véleményt lehessen mondani a beépített beton minőségéről i anélkül, hogy nagyszámú mintából a szórást és a szilárdsági eloszlást meg kellene határozni.

Példa: B200 jelű betonkeverék tényleges eloszlását jelölje a 35. ábra eredményvonala.



35. ábra: B200 beton tényleges eloszlása és a belőle vett 10 db. minta vizsgálati adatai

E betonkeverékből vett első öt minta szilárdsága legyen: 16, 19, 19, 22 és 28 N/mm^2. A 23. táblázat szerint a beton nem felel meg a B200 jelű betonminőségnek, ezért újabb öt mintát kell venni. Ezek szilárdsága: 17, 17, 19, 25 és 31 N/mm^2. E vizsgálat szerint tehát a beton megfelelőnek minősül. Ha a 10 minta vizsgálati eredményeiből az átlagot és a szórást kiszámítjuk, akkor

$$\overline{K} = 21{,}3\ N/mm^2 \quad \text{és} \quad s = 5{,}1\ N/mm^2$$

értékeket kapunk. Ha normális eloszlást feltételezünk, akkor

$$K_m = 21{,}3 - 2 \times 5{,}1 = 11{,}1\ N/mm^2 < 14\ N/mm^2$$

Tehát a betont nem megfelelőnek kellene minősítenünk. A 10 minta vizsgálata nem jogosít fel arra, hogy a szilárdság eloszlását meghatározzuk, ezért az MSZ 15022 szerinti normális eloszlást kellene feltételeznünk (ezt az ábrán szaggatott vonallal tüntettük fel) , ami nyilvánvalóan félrevezető lenne ebben az esetben.

A gyártásközi minőség-ellenőrzés célja más, mint a betonkeverék minősítő vizsgálatáé. A beton készítőjének a minősítő vizsgálat során csak azt kell tanúsítania, hogy az általa készített betonkeverék egyedi mintái közül egynek sem kisebb a szilárdsága (vagy szekvenciális mintavétel esetén legfeljebb egynek kisebb), mint a 23. táblázatban megengedett minimális szilárdság. Ezzel igazolja, hogy az MSZ 15022 szabványban előírt minősítési értéknek megfelelő betont állított elő. Azt azonban nem kell igazolnia, hogy miképpen állította elő ezt a betonkeveréket.

A gyártásközi vizsgálat a beton előállítóját abban segíti, hogy a betonnal szemben támasztott követelményeket a leggazdaságosabb módon elégítse ki. Az MSZ 246/1 értelmében a statisztikai gyártásellenőrzés lényege az, hogy szúrópróbás (mintavételes) vizsgálat alapján a gyártás folyamatára matematikai összefüggésekkel következtet. A módszerek lehetőséget adnak arra, hogy megállapítsuk

- a gyártás legkedvezőbb beállítását,
- a vizsgált tulajdonság várható ingadozását és a gyártási folyamat hibahatárát,
- milyen a vizsgált tulajdonság időbeli változása és nem jelentkezik-e a beállított átlaghoz, ill. a várható ingadozáshoz képest olyan eltérés, amely a minőség állandóságának a fenntartását lehetetlenné teszi és ezért műszaki beavatkozás szükséges.

A termék (betonkeverék vagy betonszerkezet) előírás szerinti minőségének gazdaságos eléréséért a beton előállítója felelős. Ebből következik, hogy a gyártásközi vizsgálat végrehajtását és szervezését a beton előállítója az adott gyártási feltételekhez illeszkedve szabadon választhatja meg.

A gyártásközi vizsgálat célja az, hogy tájékoztassa a beton készítőjét a gyártási folyamat állandóságáról és az előállított beton várható minőségéről. Ennek a tájékoztatásnak az alapján képes a gyártó az általa készített beton esetleges minőségingadozásait javítani, ill. korlátozni. A vizsgálati eredmények birtokában állapítható meg, hogy a gyártási folyamat megváltozott-e, és ha igen, melyik

szakaszban, és mennyi ideig állt fenn a változás, továbbá milyenek a következményei a beton minőségére.

A gyártásközi vizsgálatot tehát úgy kell végrehajtani, hogy a leggyorsabban tájékoztassa a beton készítőjét az esetleges módosítások szükségességéről. Ebből következően pl. a megszilárdult beton 28 napos nyomószilárdságának rutinszerű vizsgálata az aktív gyártásközi ellenőrzésnek nem szükségszerű feltétele (viszont – legalábbis egyelőre – feltétele a minősítő vizsgálatnak).

Az alkalmazott ellenőrzési módszernek szolgáltatnia kell a felhasznált alapanyagok és a friss betonkeverék legfontosabb tulajdonságainak az alapadatait és a betonkészítés egyes szakaszainak (mérlegelés, adagolás, keverés, szállítás, bedolgozás és utókezelés) jellemző paramétereit. Az ellenőrzés vezetését olyan szakképzett személyre kell rábízni, aki az adott gyártási feltételek által megkövetelt ismeretekben kellően jártas.

A gyártásközi vizsgálat feladataiból következik, hogy szolgáltatnia kell azokat az adatokat, amelyek alapján az üzemi szórás a különböző névleges szilárdsági osztályú betonokra megállapítható, ill. a gyakorisági diagram megszerkeszthető. Ezt a vizsgálatot azonban csak egyetlen alkalommal kell elvégezni úgy, hogy mind az alapanyagok, mind a friss beton, mind a megszilárdult beton sűrűségingadozása megállapítható legyen. A vizsgálatnak ki kell terjednie az adagoló berendezések pontosságának ellenőrzésére, az adalékanyag és a cement legfontosabb tulajdonságainak a meghatározására, a konzisztenciának és a friss beton összwetételének a vizsgálatára, a keverés, ill. a keverési sorozatok homogenitásának a megállapítására.

Ha az adott üzemben a betonkeverék szilárdságát, ill. a szilárdság szórását befolyásoló tényezőket ilyen, hosszabb időszakra kiterjedően végzett vizsgálatsorozatok segítségével feltárták, akkor a rendszeres, folyamatos gyártásközi ellenőrzésnek csak a befolyásoló tényezők állandó figyelemmel kísérésére kell korlátozódnia.

5.2. A beépített beton (a betonszerkezet) matematikai-statisztikai vizsgálata

A 3. fejezetben ismertetett vizsgálatok és a 2. fejezetben részletezett irodalmi adatok alapján ki lehet jelenteni, hogy a beépített beton minőségének matematikai-statisztikai módszereit nem lehet szabványosítani, csak az alkalmazandó vizsgálati technikát. A betonszerkezet betonjának a minősítésére fel lehet ugyan használni a betonkeverék minőségvizsgálatának az eredményeit, de csak abban az esetben, ha egyrészt a betonszerkezet tömörsége megegyezik a próbatestek tömörségével, másrészt, ha pontosan kimutatható, hogy a próbakockák betonja hány tételből származik és a különböző tételeket külön-külön lehet értékelni. Ez esetben a vizsgálat a beépített beton szilárdságának megfelelő voltát feltételezhetővé teszi.

A beépített beton roncsolásmentes vagy roncsolásos eljárásokkal vizsgálható. A roncsolásmentes vizsgálat nagyszámú, olcsón megszerezhető eredményt szolgáltat, de a szilárdság megbízható értéke csak akkor várható, h a műszert az adott betonra hitelesítették (kalibrálták). Ha a roncsolásmentes vizsgálat nem a szilárdság, hanem a szórás meghatározására szolgál, akkor esetleg nincs szükség hitelesítésre sem (lásd a [8] és [13] alatti dolgozatokat).

A roncsolásos vizsgálatnak korlátokat szab egyrészt a költség (1 db hengeres magmintának a fúrása és szilárdságának vizsgálata több, mint 1000 Ft), másrészt a szerkezet biztonsága. Nem lehet ugyanis tetszés szerinti helyen és mennyiségben magmintát venni, mert p. az acélbetétek átvágásával vagy nagymértékű keresztmetszet gyengítéssel veszélyeztetnénk a szerkezet teherbíró képességét.

Azt kell tehát mérlegelni, hogy a beépített beton minősítéséhez kisszámú, de a szilárdság szempontjából megbízható adatot, vagy pedig nagyszámú, de elsősorban a szórás és az eloszlás szempontjából megbízható értékre van-e szükség. A statisztikai minősítés főleg az utóbbit igényli.

A roncsolásmentes vizsgálatok helyének a kijelöléséhez és az eredmények értékeléséhez azt kell figyelembe venni, hogy egy tételként csak statikailag azonos egységbe tartozó elemeket lehet kezelni (pl. egy többszintes vázszerkezet szintenként különválasztott függőleges és vízszintes teherhordó szerkezeteit, egy keretállást stb.). De még jól megválasztott statikai egység esetében is elképzelhető, hogy e szempontból egy tételként kezelhető szerkezeti elemek betonja már nem ítélhető egy

tételnek. Ha ilyen gyanú merül fel, és a tényleges helyzet nem ellenőrizhető, akkor a beépített beton minősítése során is célszerű a megengedett minimális szilárdság elvéből kiindulni és nem a szórás és az átlagszilárdság alapján megállapított küszöbszilárdságból.

A beépített beton minősítése során számtalan olyan szempont merülhet fel, ami az adott helyzethez való igazodást követel meg. Ezek a szempontok azonban nem szabványosíthatók. Éppen ezért a beépített beton minőség-megfelelőségének a megállapítása mindig szakértői feladatnak tekintendő.

IRODALOM

/1/ Bölcskei,E.,-Dulácska,E.: Statikusok könyve. Müszaki Könyvkiadó, Bp. 1947.

/2/ Deák,Gy.-Szalay,K.: Építőanyagok minősítése. Statikusok könyve, 1.fejezet. Müszaki Kiadó, Bp. 1974.

/3/ Korda,J.: Kandidátusi disszertáció. Kézirat. Bp. 1973.

/4/ Mistéth,E.: Építőanyagok küszöbszilárdságának valószínü-

ségi sürüségfüggvénye. ÉTI Tanulmány. Kézirat. Bp. 1977.
/5/ Ujhelyi,J.: A beton- és vasbeton szerkezetek betonjának készítésére kiadott új müszaki irányelvek. ÉGSZI Gyorsjelentés, 1977, június, p. 31-44
/6/ Himsworth,F.R.: The Application of Statistics to Concrete Quality. Proceedings of Symposium on Mix Design and Quality Control of Concrete. London. 1954.
/7/ Liljestrom,W.P. - Polivka,M.: Quality Control of Expansive Cement Concrete. Journal of the.ACI. 1976.május
/8/ Drysdale,R.G.: Variation of Concrete Strength in Existing Buildings. Magazine of Concrete Research. 1973. dec. p. 201ó207
/9/ Tevan,Zs.: A betonminőség szórásának vizsgálata házgyárakban. ÉTI Tanulmány. Kézirat. Bp. 1971.
/10/ Roknich, Gy.: Hídbetonok határfeszültségeinek matematikai statisztikai értékelése. Közlekedési Alk. Matematikai Munkaközösségének füzetei. Bp. 1972. szept. 1.szám.
/11/ György,L.: A betonszilárdság ellenőrzésének néhány matematikai-statisztikai kérdése. Doktori értekezés. Bp. 1973.
/12/ György,L.: A betonszilárdság változékonyságának kutatása és a méretezési és ellenőrzési jellemzők meghatározási módszerének kidolgozása. ÉMI Jelentés. Bp. 1970. március
/13/ Ujhelyi,J. - Seprenyiné Jankovich,V.: 71.967 számú ÉTI Szakvélemény. ÉTI. Bp. 1975.január 31.
/14/ CEB-CIB-FIP-RILEM: Recommended Principles for the Control of Quality and the Judgement of Acceptability of Concrete London. 1974.
/15/ Ujhelyi, J.: Szabványos értékelési módszerek fejlesztése a betonszilárdság eloszlásának figyelembevételével. ÉTI Jelentés, Bp. 1977.